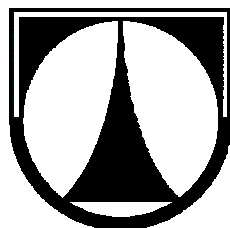


TECHNICKÁ UNIVERZITA v LIBERCI

**Fakulta mechatroniky a mezioborových
inženýrských studií**



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza signálů řídicí jednotky zážehového motoru

Combustion engine control unit signals analysis

Petr Zeithaml

Liberec, květen 2003

Anotace

Cílem diplomové práce byla analýza signálů řídicí jednotky zážehového motoru, na jejímž základě byl navržen program pro řízení systému vstřikování a zapalování zážehového spalovacího motoru. Dále seznámit se s funkcemi snímačů umístěných na spalovacím motoru Škoda, s funkcemi řídicí jednotky motoru Simos a změřit pomocí PC karty základní signály z těchto snímačů a signály pro ovládání akčních členů řídicí jednotkou motoru. Dalším krokem bylo zpracování a vyhodnocení naměřených dat. Návrh systému řízení vstřikování a zapalování může být použit jako základ k řízení motoru z počítače PC.

Annotation

The aims of Diploma thesis was a combustion engine control unit signals analysis, the results were used to design the program for control the ignition and injection system of the combustion engine. The next step was understand to the function of sensors on the combustion engine Škoda and to function of the engine control unit Simos. Basic signals of these sensors and signals for actuators given by the engine control unit were measured using a PC multifunctional card. Measured data were elaborated and analysed. The designed program should be used as a base for control the engine using a PC.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program : 2612M - Elektrotechnika a informatika

Studijní obor : 2612T - Automatické řízení a inženýrská informatika

Řídicí systém spalovacího motoru Škoda

Control system of the combustion engine Škoda

Petr Zeithaml

Vedoucí diplomové práce: Doc.Ing.Bedřich Janeček,CSc.,
Technická univerzita Liberec

| | | |
|---------------|---------|----|
| Rozsah práce: | stran | 69 |
| | obrázků | 8 |
| | grafů | 28 |
| | CD | 1 |
| | Přílohy | 7 |

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé DP a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení, apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 23. 5. 2003

.....

Petr Zeithaml

Místopřísežné prohlášení

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.“

V Liberci dne 23. 5. 2003

.....

Petr Zeithaml

Poděkování

Zde bych rád poděkoval vedoucímu mé práce Ing.Bedřichu Janečkovi za to, že se mi v případě potřeby vždy snažil pomoci, ale zejména za jeho bezvadný přístup ke studentům.

Obsah:

| | |
|--|------|
| 1. Úvod..... | 12 - |
| 2. Popis použitých zařízení. | 13 - |
| 2.1. Technické parametry motoru. | 13 - |
| 2.2. Systémová funkce řídicí jednotky Simos 3PA. | 13 - |
| 2.3. Převodníková karta PCA 1408A. | 14 - |
| 3. Vstupní a výstupní signály řídicí jednotky. | 15 - |
| 3.1. Snímač otáček motoru. | 15 - |
| 3.2. Snímač polohy vačkového hřídele. | 16 - |
| 3.3. Čidlo tlaku nasávaného vzduchu a snímač teploty nasávaného vzduchu. | 17 - |
| 3.4. Systém škrtkící klapky a pedálu akcelerace. | 17 - |
| 3.4.1. Snímač polohy škrtkící klapky. | 18 - |
| 3.4.2. Snímač polohy pedálu akcelerace. | 19 - |
| 3.5. Lambda sonda. | 20 - |
| 3.6. Snímač klepání. | 21 - |
| 3.7. Čidlo teploty chladicí kapaliny. | 22 - |
| 3.8. Systém vstřikování. | 23 - |
| 3.9. Systém zapalování. | 25 - |
| 4. Zpracování naměřených hodnot. | 27 - |
| 4.1. Předstih zážehu a úhel vstřiku. | 27 - |
| 4.2. Motor bez zátěže..... | 28 - |
| 4.2.1. Start motoru. | 28 - |
| 4.2.1.1. Vstřikování paliva při startu motoru. | 29 - |
| 4.2.1.2. Předstih zapalování při startu motoru. | 30 - |
| 4.2.2. Volnoběžný režim motoru. | 31 - |
| 4.2.2.1. Vstřikování paliva při volnoběžném režimu. | 32 - |
| 4.2.2.2. Předstih zapalování při volnoběžném režimu. | 33 - |
| 4.2.3. Provoz nezatíženého motoru při zvýšených otáčkách. | 34 - |
| 4.2.3.1. Vstřikování paliva při nezatíženém motoru a zvýšených otáčkách..... | 34 - |
| 4.2.3.2. Doba vstřiku paliva při nezatíženém motoru a zvýšených otáčkách.... | 35 - |

| | |
|---|--------|
| 4.2.3.3. Předstih zapalování při nezatíženém motoru a zvýšených otáčkách..... | - 36 - |
| 4.3. Motor v zátěži. | - 37 - |
| 4.3.1. Kalibrace momentové charakteristiky. | - 37 - |
| 4.3.2. Předstih zážehu směsi při zatíženém motoru..... | - 38 - |
| 4.3.3. Množství vstřikovaného paliva při zatíženém motoru..... | - 40 - |
| 5. Systém řízení volnoběžného režimu motoru. | - 41 - |
| 5.1. Elektronická regulace předstihových charakteristik..... | - 41 - |
| 5.2. Určení polohy klikového mechanismu..... | - 44 - |
| 5.2.1. Zpracování signálu ze snímače polohy klikové hřídele. | - 44 - |
| 5.2.2. Zpracování signálu ze snímače polohy vačkové hřídele. | - 45 - |
| 5.3. Zpracování signálu ze snímače polohy škrtkové klapky..... | - 46 - |
| 5.4. Lambda regulace..... | - 47 - |
| 5.5. Teplota chladicí kapaliny..... | - 48 - |
| 5.6. Start motoru. | - 49 - |
| 5.6.1. Vstřikování paliva při startu motoru. | - 50 - |
| 5.6.1.1. Množství vstřikovaného paliva při startu motoru. | - 51 - |
| 5.6.2. Předstih zapalování při startu motoru..... | - 52 - |
| 5.7. Volnoběžný režim motoru. | - 53 - |
| 5.7.1. Vstřikování paliva při volnoběžném provozu motoru. | - 54 - |
| 5.7.1.1. Množství vstřikovaného paliva při volnoběžném provozu motoru..... | - 55 - |
| 5.7.2. Předstih zapalování při volnoběžném režimu motoru..... | - 56 - |
| 6. Zhodnocení dosažených výsledků..... | - 57 - |
| 7. Závěr..... | - 58 - |
| 8. Přílohy..... | - 59 - |

Seznam použitých veličin a značek

| | |
|---------------|------------------------|
| ECU | řídící jednotka motoru |
| KH | kliková hřídel |
| HU | horní úvrat' |
| λ [-] | lambda (složení směsi) |
| ot/min | otáček za minutu |
| t [s] | čas |

| | |
|-------|-----------------|
| atd. | a tak dále |
| např. | například |
| resp. | respektive |
| tj. | to je |
| tzn. | to znamená |
| DP | diplomová práce |

| | |
|--------|--|
| m-file | m soubor (zdrojový text v programu Matlab) |
| WWW | celosvětová síť (World-Wide Web) |

1.Úvod

Koncem sedmdesátých let začalo docházet k masivnímu pronikání elektroniky do řízení chodu zážehových motorů. Tento trend byl vynucen především rostoucími nároky na snižování emisí ve výfukových plynech spalovacích motorů a jejich spotřebu. Příprava směsi vzduchu s palivem v karburátoru již neumožňovala plnit neustále se zpřísnující ekologické limity. Mnohem lepší a spolehlivější složení směsi ve všech režimech chodu motoru umožnil elektronický vstřík paliva do nasávaného vzduchu. S rozšiřujícím se používáním katalyzátorů pro dodatečné zpracování spalin vyvstala potřeba regulovat bohatost směsi ve velmi úzkém rozmezí. To se podařilo zavedením lambda-sondy, která vyhodnocuje přebytek, nebo nedostatek kyslíku ve výfukových plynech. U nejnáročnějších exhalačních systémů se používají dvě nebo více lambda-sond.

Příprava optimální směsi paliva a vzduchu musí být zajištěna i za extrémních provozních podmínek a režimů chodu motoru, které je potřeba rovněž v reálném čase zaznamenávat, vyhodnocovat a použít pro řízení motoru. Tyto informace snímají senzory vhodně umístěné na motoru a jejich signál je průběžně vyhodnocován v elektronickém zařízení - řídicí jednotce motoru (ECU). V jednotce ECU jsou implementovány algoritmy pro výpočet optimálního množství paliva za různých pracovních podmínek motoru a pro provádění dalších regulačních opatření, například úpravu předstihu zážehu. Stejně náročné požadavky na jednotku ECU klade i tlak na snižování spotřeby paliva. Ten byl odstartován ropnou krizí na počátku 70. let minulého století.

Vývoj řídicího systému pro spalovací motor je velmi nákladná a časově náročná činnost. Řídicí jednotky obsahují rovněž různé ochranné prvky a proto jsou pro sériově vyráběné motory dodávány naprogramované, bez možnosti změny parametrů. Při testování dílčích subsystémů motoru v průběhu výroby, při vývoji nebo optimalizaci parametrů je nezbytné mít programovatelné řídicí jednotky, nebo možnost řídit motor například z osobního počítače. Návrh takového řídicího systému pro počítač PC byl nosnou částí této diplomové práce.

2. Popis použitých zařízení

V této kapitole jsou uvedena zařízení se kterými jsem při tvorbě DP pracoval a připojen jejich stručný popis s použitím informací z [1][3][4].

2.1. Technické parametry použitého motoru:

| | |
|-------------------------|--|
| Kód motoru: | AMD benzínový motor |
| Konstrukce: | řadový čtyřválec |
| Obsah: | 1397 cm ³ |
| Vrtání: | 75,5mm |
| Zdvih: | 78mm |
| Kompresní poměr: | 10,0 : 1 |
| Jmenovitý výkon: | 44 kW (60 koní) při 4500 min ⁻¹ |
| Max.točivý moment: | 120 Nm při 2500 min ⁻¹ |
| Řídící jednotka: | Benzin Simos 3PA SJ4C |
| Počet ventilů na válec: | 2 |
| Čištění výfuk. plynů: | lamda regulací, katalyzátorem |
| Norma pro výfuk.plyny: | splňuje EU II |
| Palivo: | bezolovnatý benzin s oktanovým č.95 |
| Pořadí zapalování: | 1-3-4-2 |

2.2. Systémová funkce řídicí jednotky Simos 3PA

Základní signály, snímače a akční členy řídicí jednotky Simos 3PA :

snímač otáček motoru a polohy klikové hřídele

snímač polohy vačkové hřídele

čidlo tlaku nasávaného vzduchu

snímač teploty nasávaného vzduchu

snímač polohy škrticí klapky

snímač polohy pedálu akceleraace

λ-sonda

snímač klepání

čidlo teploty chladicí kapaliny

signál pro elektronický rozdělovač – zapalování

signál pro vstřikovací ventily

2.3. PC karta PCA 1408A

Parametry PC karty

- 14 bitový A/D převodník s rychlostí konverze 5 μ s
- Spouštění ADC softwarově, časovačem, externím TTL signálem.
- Multiplexer pro 8/32 S.E. vstupů .
- Vstupní rozsahy $\pm 10V \div 0.1V$.
- Časovač pro periodické spouštění převodníku (do 35 minut).
- Logiku přerušení (IRQ2-IRQ11) s kompletním programovým řízením.
- Jeden volitelný čítač (Intel82C54) pro externí aplikace.
- Dva D/A převodníky, pomocí propojek lze pro oba nezávisle volit .
- Unipolární či bipolární napěťový rozsah.
- DAC 2x12 bitů.
- Digitalní porty 8xIN a 8xOUT.
(TTL kompatibilní, vstupy odolné proti přepětí +-24V.)
- Sběrnice ISA 8/16 bitů.

[4] Předností této karty je jednoduchá programová nastavitelnost většiny parametrů. Svoji koncepcí je určena pro standardní měření se vzorkovacím kmitočtem do 50 kHz. Je vhodná pro měření s vyššími požadavky na přesnost či dynamický rozsah. Omezením této PC karty oproti výkonnějším typům je absence vyrovnávací paměti A/D převodníku a tedy i nezbytná intervence ze strany aplikačního software, respektive ovladače pro každý odměřený vzorek. Zatímco MS-DOS programy mohou dosáhnout plné vzorkovací frekvence, v aplikacích pracujících pod operačními systémy Windows 9x/Me/NT/2000 je tato karta vhodná pro vzorkovací frekvence maximálně do 5 \div 8 kHz. Dosažení limitní frekvence 50 kHz vyžaduje nesystémový přístup, při kterém je po dobu měření znemožněn běh ostatních aplikací. Karta nabízí základních 8 analogových vstupů jednoduše rozšiřitelných externím multiplexerem OPT-832 v provedení zakončovacího panelu – svorkovnice. Další rozšiřování počtu vstupů systému je možné externími multiplexery, popřípadě i paralelním řazením více karet PCA 1408A.

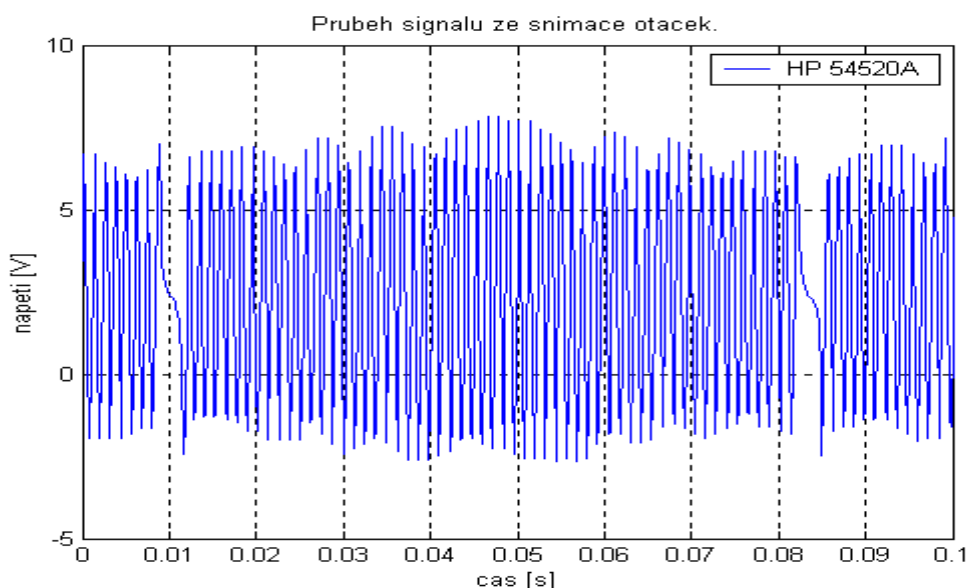
3. Vstupní a výstupní signály řídicí jednotky.

V této kapitole je uveden přehled snímačů a akčních členů a jejich funkcí. Uvedené informace o snímačích byly čerpány z firemní literatury (technické dokumentace) firmy Škoda [1][2].

3.1. Snímač otáček motoru

Umístění

Snímač je namontovaný na převodovce nad setrvačником.



Graf 3.1: Průběh signálu ze snímače otáček, snímáný digitálním osciloskopem .

Využití signálu

Snímač otáček motoru je snímačem induktivním. Snímá otáčky motoru a úhel natočení klikové hřídele. Je kontrolována správnost signálu snímače otáček motoru spolu se signálem snímače polohy vačkového hřídele. V případě, že řídicí jednotka motoru nerozpozná signál snímače otáček motoru, dojde k zastavení motoru.

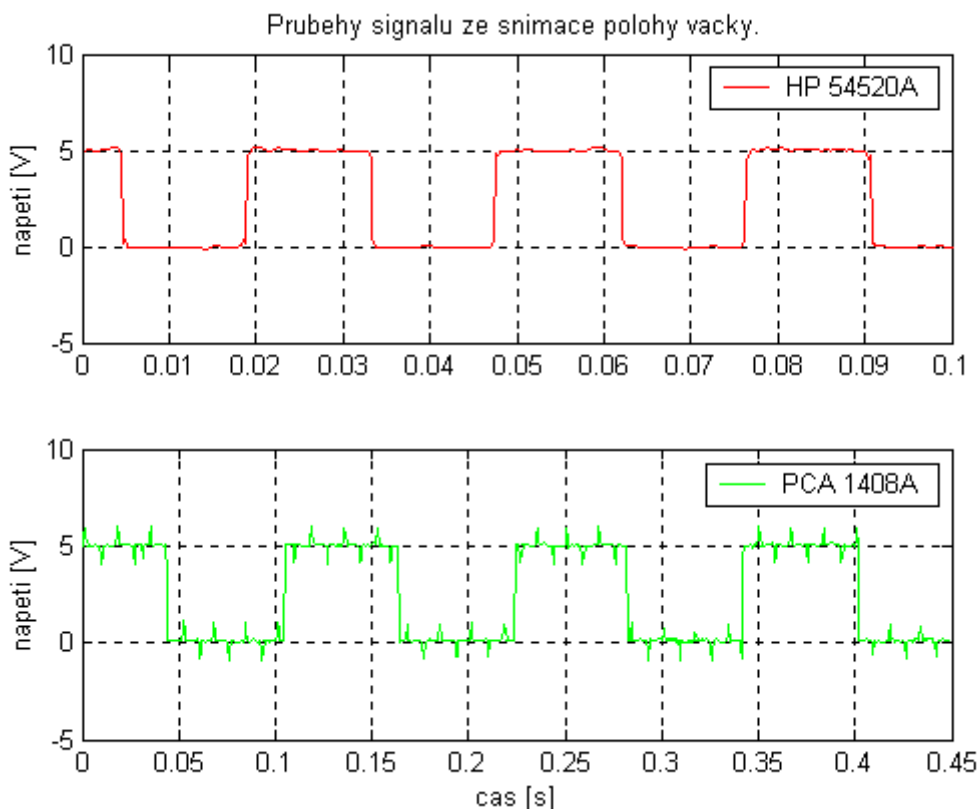
Konstrukce a funkce

Na obvodu setrvačníku jsou integrovány impulsní segmenty ve tvaru zubů. Obvod je rozdělen na 60 segmentů a obsahuje mezeru o velikosti dvou segmentů. Pohybem segmentů pod snímačem je ovlivňováno jeho magnetické pole. Změny magnetického pole indukují ve vinutí cívky snímače elektrické napětí. Frekvence tohoto napětí se mění s otáčkami motoru. Vzniklé elektrické napětí se přivádí do řídicí jednotky. Poloha klikové hřídele se určuje pomocí širší mezery mezi segmenty. Při rozpoznání signálu poskytovaného snímačem otáček řídicí jednotka určí přesně polohu mechaniky motoru, tzn. že rozpozná horní úvratě pro všechny válce. Na základě této informace jsou určeny okamžiky vstřiku paliva a zážehu nasáté směsi. Vyhodnocovací cyklus je tvořen 2 otáčkami klikového hřídele = $2 \times (60-2)$ zubů a 1 otáčkou vačkového hřídele s mezerou $1 \times 180^\circ$, jehož signál umožní rozeznat, ve které fázi pracovního cyklu se motor nachází.

3.2. Snímač polohy vačkové hřídele

Umístění

Snímač se nachází nad olejovým filtrem v úrovni vačkové hřídele.



Graf 3.2: Signál ze snímače polohy vačky, snímáný osciloskopem a PC kartou.

Využití signálu

Pro účelné provádění sekvenčního vstřikování je nezbytné definovat aktivní válec. Vyhodnocením signálu snímače polohy vačkového hřídele a signálu snímače otáček motoru dojde k rozpoznání horní úvrati pístu v 1.válci při kompresi (synchronizace 1.válce). Po současném vstupu obou signálů dojde k vstřiku paliva a zážehu směsi.

Konstrukce a funkce

Vačková hřídel „poskytuje impulsy“ prostřednictvím zvláštní vačky (segmentu), která je součástí vačkové hřídele. Váčka má tvar kruhové úseče o velikosti 180°. Prochází-li magnetickým snímačem polohy vačkového hřídele plná část segmentu o velikosti 180° indukuje se v sondě elektrické napětí. Mezera magnetické pole neovlivňuje. V případě výpadku snímače polohy vačkového hřídele vypne řídicí jednotka motoru regulaci klepání a zmenší úhel zapalování. Motor běží dál a používá signál o otáčkách motoru.

3.3. Čidlo tlaku nasávaného vzduchu

Snímač teploty nasávaného vzduchu

Umístění

Čidla jsou umístěna ve střední části sacího potrubí hned za vstupním otvorem pro vzduch. Obě čidla tak mají přímý kontakt s nasávaným vzduchem v sacím potrubí.

Využití signálu

Informace o tlaku a teplotě nasávaného vzduchu se v řídicí jednotce motoru použijí pro výpočet váhového množství nasávaného vzduchu. Pomocí této informace se také vypočítává okamžik vstřiku a zážehu. Při ustáleném volnoběhu (teplý motor) se hmotnost nasávaného vzduchu nemění. Řídicí jednotka využívá údaje ze snímačů teploty a tlaku nasávaného vzduchu, snímače teploty motoru, případně i signál startu, k řízení množství vstřikovaného paliva podle přednastavených hodnot pro teplý a studený start [5].

3.4. Systém škrtkové klapky a pedál akcelerace

Jednotka škrtkové klapky je uchycena na sacím potrubí. Řídicí jednotka motoru Simos 3PA neobsahuje mechanické ani přímé elektrické propojení mezi pedálem akcelerace a škrtkové klapky.

klapkou. Toto spojení bylo nahrazeno elektronickým ovládáním. Řídící jednotka tedy může škrtkící klapkou pohybovat nezávisle na poloze pedálu akcelerační.

System škrtkící klapky zahrnuje:

- pedálové snímače (na pedálu akcelerační)
- řídící jednotku motoru
- jednotku ovládání škrtkící klapky

Pedálovými snímači je zaznamenáván pohyb pedálu akcelerační a signál je předán řídící jednotce. Řídící jednotka zajistí prostřednictvím stejnosměrného motoru nastavení škrtkící klapky. Informace o okamžité poloze škrtkící klapky je jako zpětná vazba kontinuálně předávána zpět do řídící jednotky motoru.

3.4.1. Snímač úhlu pro polohu škrtkící klapky

Umístění

Snímače jsou mechanicky spojeny s hřídelí, na které je uložena škrtkící klapka.

Využití signálu

Zpětnou vazbu, tedy informaci o skutečném úhlu otevření škrtkící klapky, předávají oba snímače-potenciometry řídící jednotce motoru. Z úhlu otevření škrtkící klapky a otáček motoru je řídící jednotkou vypočteno množství nasátého vzduchu, které je porovnáno s množstvím vypočteným z údaje snímačů tlaku a teploty.

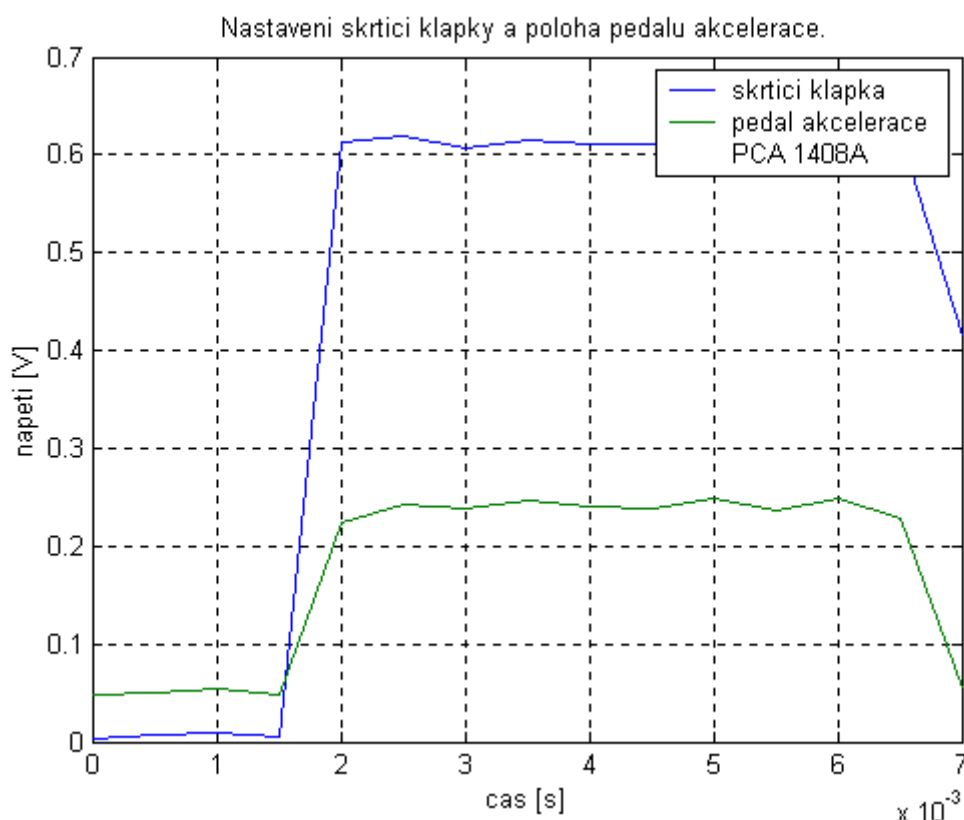
Konstrukce a funkce

Oba snímače pracují jako potenciometry. Z bezpečnostních důvodů jsou dva, přičemž jejich odporové charakteristiky jsou protichůdné (klesající a rostoucí). V případě výpadku jednoho snímače úhlu zajišťuje řídící jednotka motoru pomocí nouzového programu a signálu druhého snímače funkčnost elektrického pedálu akcelerační. Dojde-li k výpadku proudu, nastaví se škrtkící klapka pomocí pružiny do polohy umožňující nouzový chod motoru.

3.4.2. Snímač polohy pedálu akcelerace

Umístění

Pedál akcelerace a pedálové snímače tvoří jednu součást - modul pedálu akcelerace. Mechanická část je v podstatě umístěna v modulu spolu se snímačem pedálu akcelerace v prostoru řidiče.



Graf 3.3: Signál ze snímače otevření škrticí klapky a polohy pedálu akcelerace, snímáný PC kartou.

Využití signálu

Signál o poloze pedálu je veden jako napěťový signál do řídicí jednotky motoru. V grafu 3.3. je vynesena průběh signálu ze snímače polohy škrticí klapky a polohy pedálu akcelerace. Průběh signálu polohy škrticí klapky postihuje otevření škrticí klapky od minimálního do maximálního. Průběh signálu polohy pedálu akcelerace postihuje polohu od volné až po plný plyn, tedy příkaz k maximálnímu otevření škrticí klapky.

Konstrukce a funkce

Oba snímače pracují jako tahové potenciometry. Průběh charakteristik obou snímačů je rozdílný. Řídicí jednotka motoru sleduje funkčnost obou snímačů a zároveň kontroluje, zda

jejich signály dávají smysl. V případě výpadku jednoho ze snímačů slouží ten druhý jako náhradní. V případě závady obou snímačů polohy pedálu akcelerace již nebude rozpoznáváno sešlápnutí pedálu akcelerace.

3.5. Lambda sonda

Umístění

Lambda-sonda je umístěna ve stěně výfukového potrubí.

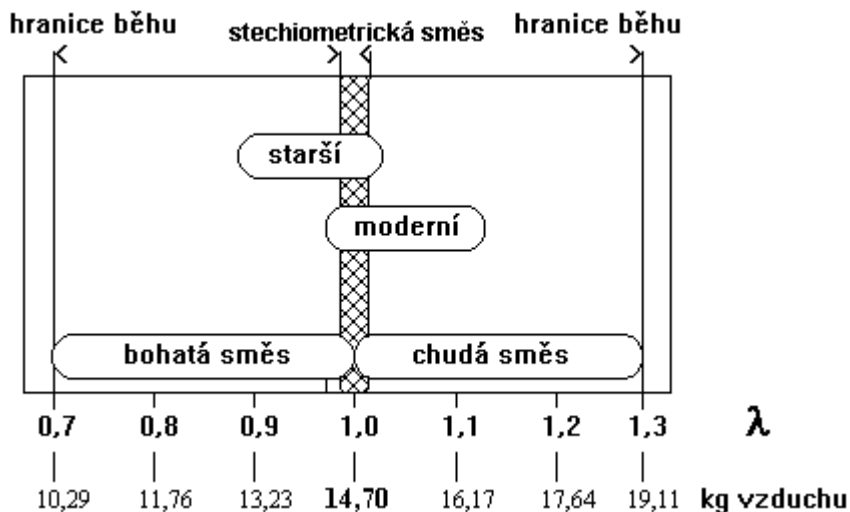
Využití signálu

Signál je využit pro tvorbu směsi paliva a vzduchu s předpokládaným složením, tzn. pro případnou korekci množství vstřikovaného paliva v závislosti na množství nasátého vzduchu.

Konstrukce a funkce

[5][7] Funkce lambda-sondy je založena na principu galvanického kyslíkového článku s elektrolytem v pevné fázi. Elektrolyt v pevné fázi sestává z keramických folií. Článek snímače je v tělese sondy uchycen keramickým těsněním. Ochranná trubka s dvojitou stěnou chrání článek snímače před tepelným a mechanickým namáháním. Jednotlivé funkční vrstvy jsou vyrobeny sítotiskovou technikou, kdy jsou potištěné folie laminovány jedna na druhou. To umožňuje integrovat do článku snímače i topné těleso a při nízkých teplotách výfukových plynů zvýšit teplotu keramiky elektrickým topným článkem. Použitý keramický materiál se od 350°C stává vodivým pro ionty kyslíku. Liší-li se jeho podíl na obou stranách tělíska, vzniká mezi platinovými elektrodami elektrické napětí. Toto napětí je závislé na obsahu kyslíku ve výfukových plynech. Lambda-sonda neurčuje konkrétní hodnotu poměru vzduchu a paliva ve směsi, ale zjišťuje přebytek, nebo nedostatek kyslíku ve výfukových plynech, tedy zda je směs chudá s přebytkem vzduchu ($\lambda > 1$) nebo bohatá s přebytkem paliva ($\lambda < 1$). Při odchylce od stechiometrické hodnoty ($\lambda = 1$) vytváří snímač napěťový skok, který je vyhodnocován v řídicí jednotce motoru. Na obrázku 3.1. je naznačena souvislost mezi součinitelem přebytku paliva λ a množstvím vzduchu na jeden kilogram paliva. Starší koncepce zážehových motorů vycházely z použití bohaté směsi. Tlak na snižování spotřeby paliva a vývoj katalyzátorů umožňuje u moderních koncepcí využívat spíše směsi chudé. Hranice pro spolehlivý běh zážehového motoru je $\lambda = 0,7 \div 1,3$ a proto směs nelze libovolně ochuzovat. Skutečná řídicí jednotka je řízením dle vlastních přednastavených hodnot schopna

provozu i v případě výpadku signálu od lambda-sondy.



Obr.3.1: Součinitel přebytku vzduchu a množství vzduchu na 1 kg paliva.

Po startu motoru, kdy je teplota výfukových plynů nízká a keramický článek integrovaný ve snímači nedosahuje provozní teploty 350 °C, není lambda-sonda schopná správné funkce a řídicí jednotka po dobu přibližně 30 vteřin používá pro regulaci vlastní přednastavené hodnoty.

3.6. Snímač klepání

Umístění

Snímač klepání, chráněný tepelným krytem, je umístěn na vlastním nálitku na bloku motoru.

Využití signálu

Snímač klepání slouží k zabránění vzniku nežádoucího detonačního spalování, které snižuje účinnost konverze energie přivedené v palivu na mechanickou práci a životnost motoru.

Konstrukce a funkce

[6] Jedná se o piezoelektrický element s krystalickou strukturou na němž je umístěna setrvačná hmota. Při otřesech vyvolaných detonačním spalováním vzniká elektrický náboj, který se převádí na střídavé napětí. Při detonačním spalování signál obsahuje charakteristické frekvence. V motoru vznikají rázy a hluky mechanického původu, které rovněž vyvolávají

elektrické impulsy. Pokud řídicí jednotka poměrně složitým způsobem vyhodnotí signál jako detonační spalování sníží úhel předstihu zapalování.

3.7. Čidlo teploty chladicí kapaliny

Umístění

Snímač je umístěn ve skříni termostatu, která je upevněna na bloku motoru.

Využití signálu

Snímač teploty chladicí kapaliny poskytuje informaci o provozní teplotě spalovacího motoru.

Konstrukce a funkce

[5] Teplota chladicí kapaliny je snímána odporovým snímačem. Signál je využíván při řízení bohatosti směsi (obohacování při studeném startu, při opakovaném startu, při zrychlování, při brždění motorem atd.). Při volnoběhu řídicí jednotka motoru reguluje volnoběžné otáčky podle přednastavené křivky. Určité hodnotě teploty chladicí kapaliny tedy přísluší určité volnoběžné otáčky. U studeného motoru se postupně snižují otáčky z hodnoty přes 1000 ot/min na jmenovité volnoběžné otáčky po dosažení provozní teploty. Pokud je teplota chladicí vody nižší než 80°C, řídicí jednotka obohacuje směs a pootevřítá škrtkovací klapku, aby zvýšila výkon motoru, protože ve studeném stavu jsou jeho pasivní odpory vyšší a hoření méně stabilní. Jak roste teplota nasávaného vzduchu a chladicí vody, přechází řídicí jednotka do standardního režimu. Správná provozní teplota chladicí kapaliny je v rozmezí 80 ÷ 115°C. Doba ohřevu motoru je individuální podle povětrnostních podmínek. Za extrémně nízkých teplot se na provozní teplotu motor ani nemusí dostat. Chladicí kapalinou se z energie přivedeného palivem totiž odvede poměrně málo tepla (jen asi 20%), na mechanickou práci se přemění 28 ÷ 35 % a zbytek odchází ve spalínách a konvekcí a radiací z povrchu motoru, přičemž tento podíl při nízkých okolních teplotách roste. Motor dosáhne provozní teploty v místě snímače za 3 až 10 minut, za okolností uvedených shora i za mnohem delší dobu. (Proto se dnes nedoporučuje čekat po startu až se motor ohřeje.) Při přerušení signálu o teplotě chladicí vody jej řídicí jednotka automaticky nahradí signálem, který odpovídá provozní teplotě 90 °C a při řízení startu se tento signál nahradí signálem - teplota nasávaného vzduchu.

3.8. Systém vstřikování

[1][5] Dávkování paliva není určeno jen hmotností nasávaného vzduchu. Musí také vycházet z ostatních provozních podmínek motoru - otáček, zatížení a provozní teploty. Proto jsou nedílnou součástí regulačního systému složení směsi snímače jednotlivých veličin, které je třeba brát v úvahu, aby se při všech předpokládaných provozních podmínkách zajistil optimální chod motoru. Tím se rozumí nejen spotřeba zaručovaná výrobcem vozidla a úroveň emisí škodlivých látek požadovaná zákonnými předpisy, ale i startovatelnost a jízdní vlastnosti, jako je zrychlení, hlučnost chodu a další chování vozidla i motoru.

Umístění

Rozdělovací lišta paliva se vstřikovacími ventily a regulátorem tlaku paliva je uchycena na sacím potrubí.

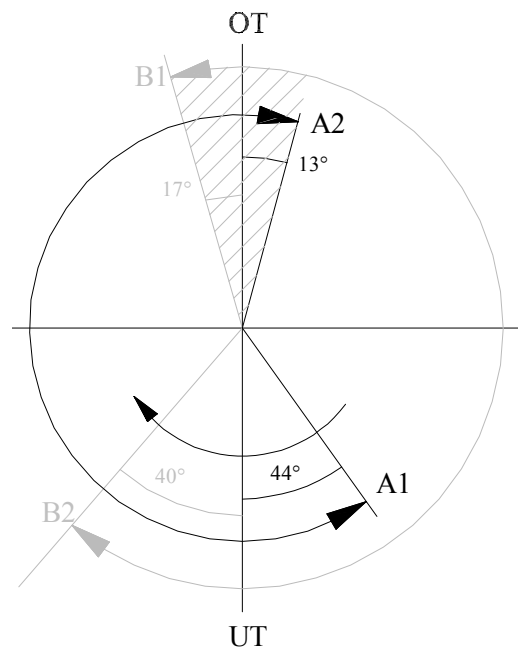
Konstrukce a funkce

Jedná se o systém vícebodového vstřikování, kde na každý válec připadá jeden elektromagnetický vstřikovací ventil, který ústí do sacího kanálu příslušného válce, zatím co u vstřikování jednobodového je palivo společně pro všechny válce vstřikováno do sacího potrubí v prostoru škrtkové klapky. Ventily jsou zásobovány palivem z palivového čerpadla. Při otevření sacího ventilu je palivo nasáto spolu se vzduchem do spalovacího prostoru. Vstřikovací ventily jsou aktivovány ve stejném pořadí jako zapalování tj. vždy 1-3-4-2 válec. Úhel, při kterém dochází ke vstřiku se vztahuje vždy na horní úvrat' pístu v příslušném válci při kompresi. Množství paliva je vypočteno pro změřené váhové množství nasávaného vzduchu a bohatost směsi.

[1] Na obrázku 3.2. je znázorněno časování otevření a zavření sacího a výfukového ventilu. Tohoto časování je dosaženo tvarem vačkové hřídele. Při analýze naměřených hodnot jsem zjistil, že palivo je do sacího kanálu každého válce vstřikováno krátce před otevřením sacích ventilů.

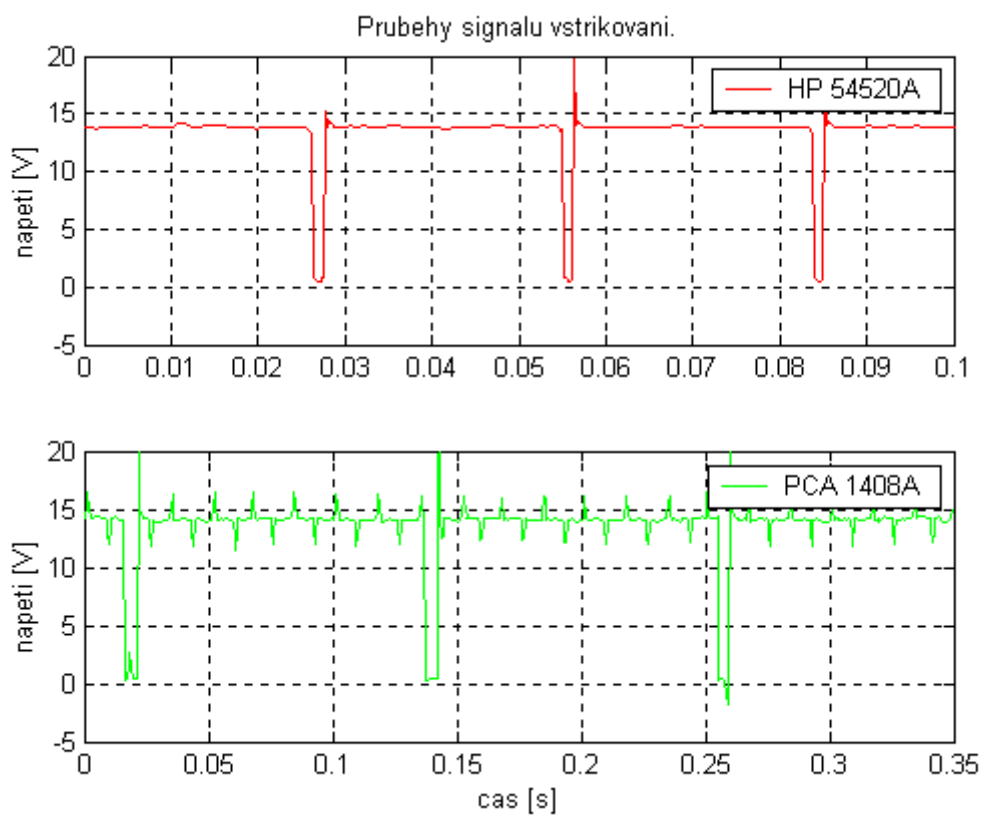
A1 = výfukový ventil otevírá 44° před DÚ
A2 = výfukový ventil zavírá 13° po HÚ
B1 = sací ventil otevírá 17° před HÚ
B2 = sací ventil uzavírá 40° po DÚ

OT = horní úvrat'
ÚT = dolní úvrat'



Obr.3.2: Diagram časování sacích a výfukových ventilů.

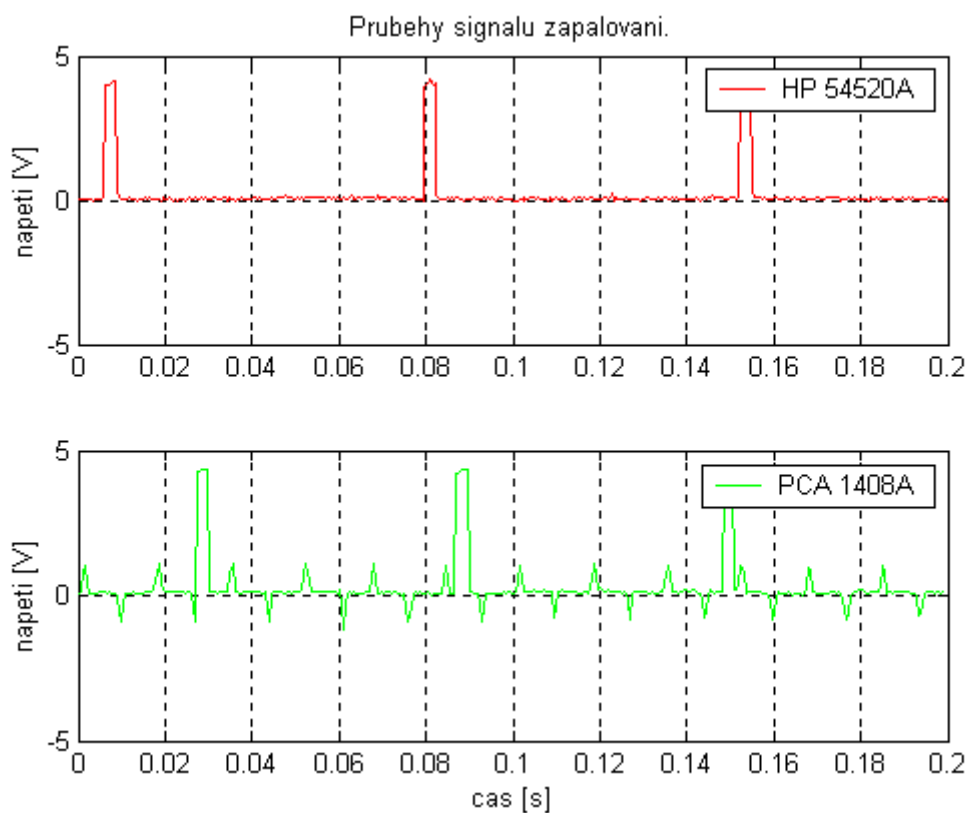
V grafu 3.4. jsou vyneseny průběhy pulsů vstřikování, snímané digitálním osciloskopem HP 45420A a PC kartou PCA 1408A se vzorkovací frekvencí 2 kHz pro první válec.



Graf 3.4: Průběh pulsů vstřiku, snímaný digitálním osciloskopem a PC kartou.

3.9. Systém zapalování

[1][5] Spalovací motory automobilů přeměňují energii chemicky vázanou v palivu na mechanickou práci. Výkon vytvářený motorem vzniká přeměnou chemické energie z paliva na teplo hořením a přeměnou tohoto tepla na mechanickou práci. Přeměna chemické energie na teplo probíhá spalováním uhlovodíkového paliva. K tomu nezbytný kyslík, je obsažený ve vzduchu nasávaném do spalovacího prostoru motoru. U zážehových motorů je obvyklým palivem automobilový benzin, jehož směs se vzduchem se zapálí zážehem od elektrického výboje přivedeného z vnějšího zdroje. Má-li se co nejvíce energie vázané v palivu přeměnit na teplo, je třeba, aby palivo co nejdokonaleji shořelo. Spalování směsi paliva se vzduchem začíná zapálením. Stechiometrické množství vzduchu ve směsi potřebné k úplnému spálení paliva činí $14.5 \div 14.7$ kg vzduchu na 1 kg paliva podle jeho složení. Směs takového složení neobsahuje ani přebytek paliva, ani přebytek kyslíku. Směs s přebytkem vzduchu se nazývá chudou. Bude-li naopak vzduchu méně, směs bude bohatá, tj. s přebytkem paliva. Pro zapálení stlačené směsi je nezbytné, aby alespoň v jednom místě spalovacího prostoru byla dosažena nebo překročena zápalná teplota.



Graf 3.5: Průběh pulsů zapalování, snímáný digitálním osciloskopem a PC kartou.

Kromě toho je nutné, aby se zapálil dostatečný objem směsi. Hoří-li její malý objem, jsou tepelné ztráty na ohřev okolní nezapálené směsi na zápalnou teplotu vyšší, než tepelná energie produkovaná hořícím objemem. Teplota tedy klesá a po poklesu pod bod hoření plamen zhasne. Zážehové zapalování vyžaduje cizí zdroj energie, který dodá potřebné teplo a teplotu. Tato energie se přivádí do směsi elektrickou jiskrou vznikající napětím mezi elektrodami zapalovací svíčky. Svíčka je umístěna ve vhodném místě spalovacího prostoru.

Konstrukce a funkce

Zapalovací lišta, která obsahuje všechny prvky potřebné k iniciaci zážehu je nasazena na zapalovacích svíčkách. Předstih před úvratí - okamžik zážehu směsi paliva a vzduchu ve válci - je určen řídicí jednotkou motoru. V grafu 3.5. jsou vyneseny průběhy zapalovacích pulsů pro první a čtvrtý válec. Signály byly snímány digitálním osciloskopem HP 54520A a PC kartou PCA 1408A se vzorkovací frekvencí 2 kHz.

4. Zpracování naměřených hodnot

4.1. Předstih zážehu a úhel vstřiku

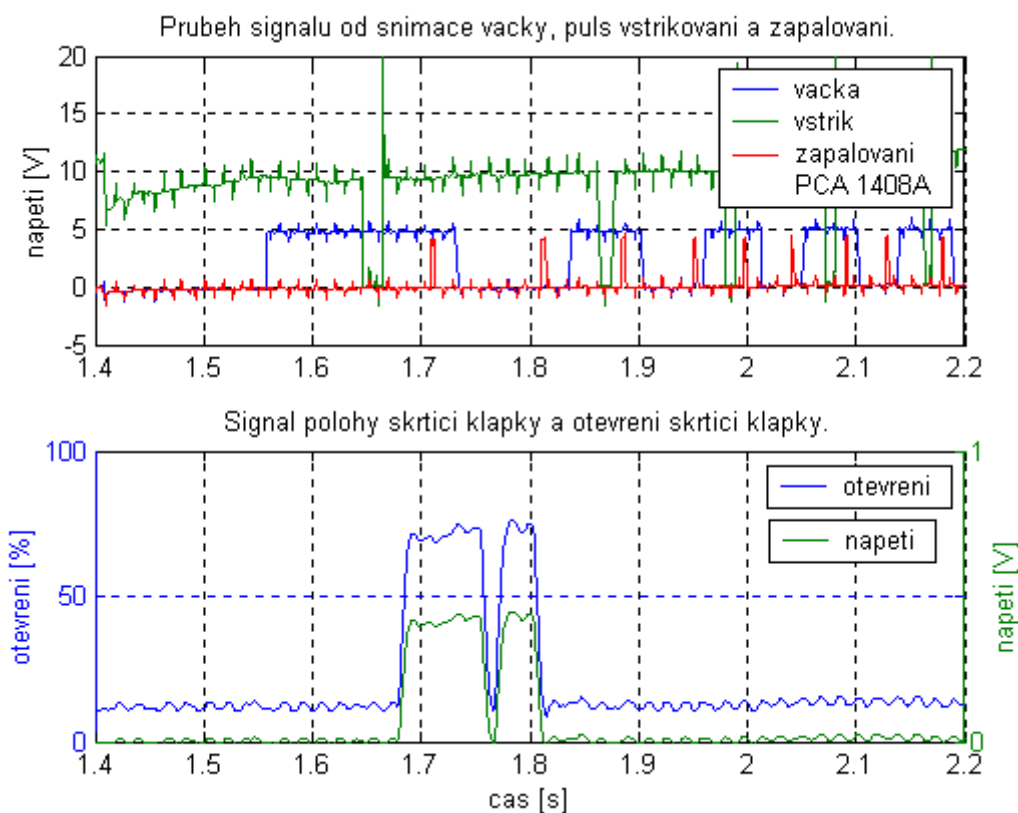
Programy pro analýzu naměřených hodnot jsou psány v podobě takzvaných m-files, tj. zdrojový soubor, v programu Matlab 5.0., [8]. Data získaná v průběhu měření - napěťové signály jsou po jednotlivých vzorcích uložena v maticích a přístupná jsou pomocí indexů jednotlivých prvků matice. Čas ve kterém probíhalo měření je uložen zvlášť ve sloupcovém vektoru. Například pro měření trvající 10 sekund a prováděné se vzorkovací periodou 0.0005 vteřiny jsem pro jednotlivé signály získal 20000 vzorků, tedy v prvním sloupci matice naměřených hodnot je pro signál polohy vačkové hřídele uložen tento počet vzorků, ve druhém sloupci je uložen stejný počet vzorků pro signál pulsu vstřikování, ve třetím sloupci to samé pro signál pulsu zapalování atd. V programu pro výpočet předstihu vstřiku a zážehu analyzuji signál ze snímače polohy vačkové hřídele následujícím způsobem. V cyklu načítám jednotlivé vzorky uložené v matici a porovnáním napěťové úrovně předcházejícího a následujícího vzorku zachytím vzestupnou, sestupnou a následující vzestupnou hranu signálu, tedy periodu jednoho otočení vačkové hřídele. Protože vačka otevírá sací ventil jenom jednou za dvě otáčky, otáčí se poloviční rychlostí. Z periody tohoto signálu lze jednoznačně určit otáčky klikové hřídele v daném pracovním cyklu tzn. úhlové natočení hřídele za jednotku času. Na základě znalosti polohy mechaniky motoru vůči hranám signálu ze snímače polohy vačky určím okamžiky horních úvrátí v každém válci pro danou část pracovního cyklu (viz. kap. 5.2., obr. 5.2.). Stejným způsobem zachytím sestupnou, resp. vzestupnou hranu pulsu vstřikování a vzestupnou, resp. sestupnou hranu pulsu zapalování. Určením úhlové vzdálenosti náběžné a sestupné hrany jednotlivých pulsů k příslušné horní úvrati po výfuku, resp. kompresi v daném válci, získám úhel vstřiku a předstih zážehu. Šířka pulsu vstřikování představuje množství vstřikovaného paliva, resp. dobu otevření elektromagnetických vstřikovacích ventilů. Z výše uvedeného získám předstihové charakteristiky, které mohu zobrazit v závislosti na otáčkách motoru. Tento program lze použít jak pro vyhodnocení signálů motoru nezatíženého, tak i motoru v zátěži.

4.2. Motor bez zátěže

4.2.1. Start motoru

Stav startu se nezjišťuje samostatným snímačem. Jako informaci lze použít přítomnost napětí na svorce spínače spouštěče při zapnutí spínací skříňky vozidla do polohy "Start", [5].

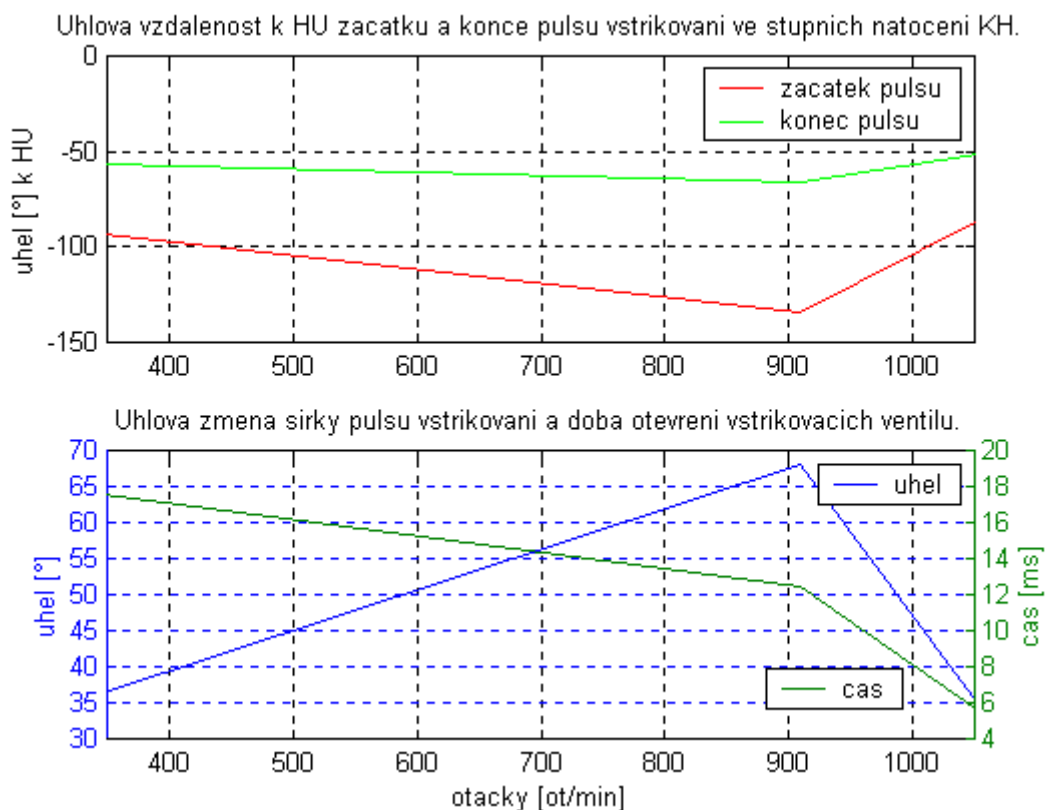
V grafu 4.1. jsou vyneseny časové průběhy signálů ze snímače polohy vačkové hřídele, polohy škrtkové klapky a průběhy pulsů vstřikování (1.válec) a zapalování (1. a 4. válec). Data byla snímána při startu motoru PC kartou PCA 1408A se vzorkovací frekvencí 2 KHz. K prvnímu vstřiku a zážehu při startu motoru došlo při otáčkách přibližně 360 ot/min. Na průběhu signálu ze snímače polohy škrtkové klapky je patrná intervence ze strany řídicího systému motoru. K otevření škrtkové klapky dojde, protože je nutno urychlit setrvačné hmoty ze startovacích na volnoběžné otáčky. To umožňuje do sacího prostoru motoru nasát dostatečné množství vzduchu, potřebného ke zvýšení otáček. Škrtková klapka je otvírána nezávisle na poloze pedálu akcelerace a povel k jejímu otevření dává řídicí jednotka motoru.



Graf 4.1: Průběhy signálů ze snímače polohy vačky, puls vstřikování a zapalování, otevření škrtkové klapky po startu motoru.

4.2.1.1. Vstřikování paliva při startu motoru

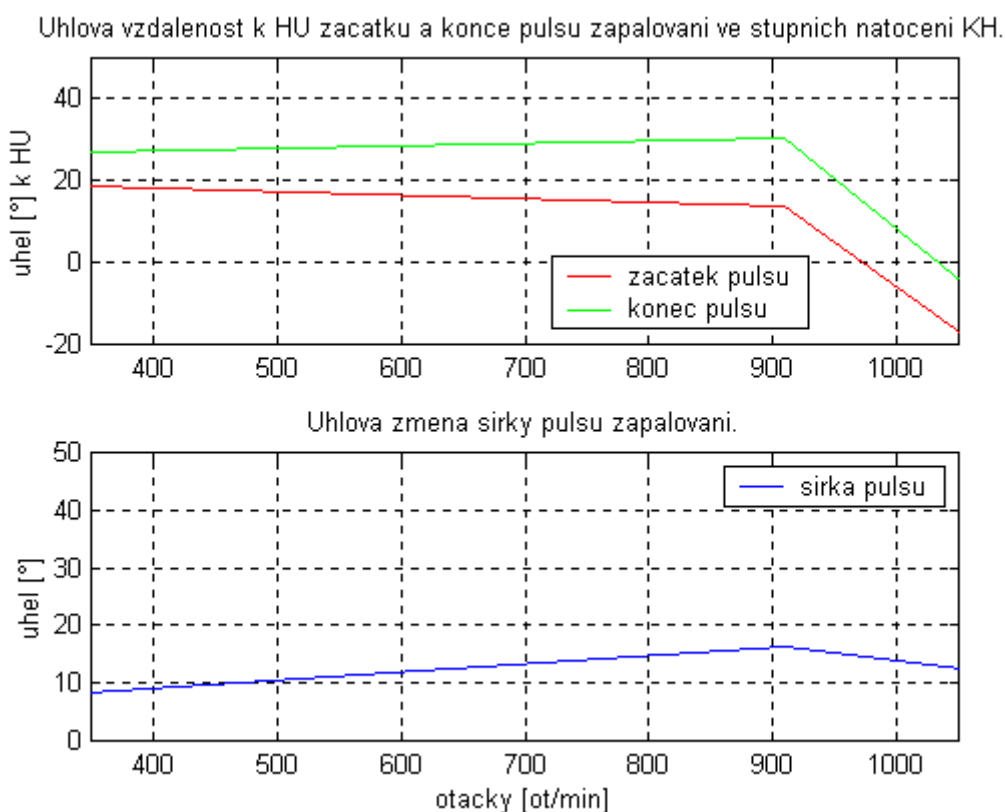
V grafu 4.2. jsou vyneseny programem vypočtené úhlové vzdálenosti k HU po výfuku náběžných a sestupných hran pulsů vstřikování (1.válec), ve stupních natočení KH a změna úhlu (šířky) pulsů vstřikování, resp. doba otevření vstřikovacích ventilů (1.válec). Data byla snímána po startu motoru. Horní úvrať po výfuku je označena 0° . Z prvního grafu je zřejmé, že vstřik paliva do sacího kanálu začal přibližně 95° před horní úvratí po výfuku v prvním válci (sací ventil je ještě zavřený), následně byl úhel vstřiku zvýšen a po dosažení požadovaných otáček probíhá vstřik do polohy KH 85° před horní úvratí po výfuku v příslušném válci. Z druhého průběhu je vidět, jak bylo po startu motoru zvýšeno množství paliva distribuovaného do sacího kanálu prvního válce z důvodu krátkodobého částečného otevření škrtící klapky řídicí jednotkou motoru. Otevření škrtící klapky a zvýšení množství vstřikovaného paliva je prováděno pro dosažení vyšších otáček (jejich stabilizaci). Doba otevření vstřikovacích ventilů může být při startu motoru až 20ms a po zvýšení otáček klesne na 5ms.



Graf 4.2: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu vstřikování a doba otevření vstřikovacích ventilů při startu motoru, (1.válec).

4.2.1.2. Předstih zapalování při startu motoru

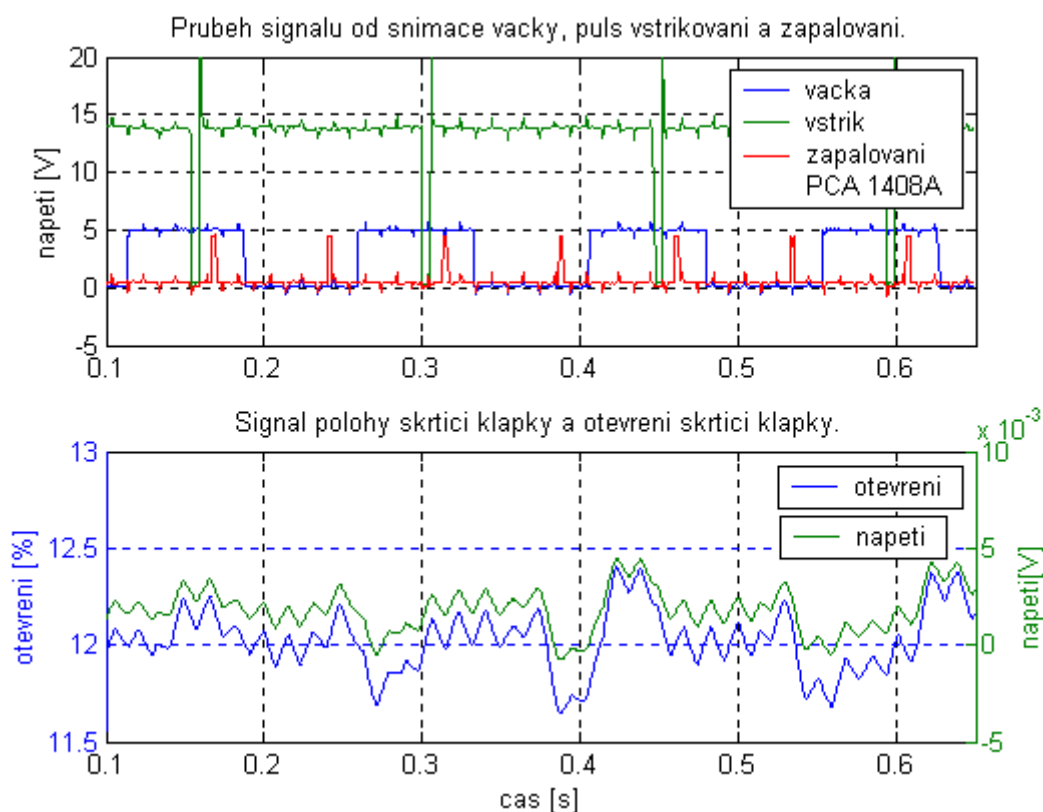
V grafu 4.3. jsou vyneseny programem vypočtené úhlové vzdálenosti k HU po kompresi náběžných a sestupných hran pulsů zapalování (1.válec) ve stupních natočení KH a změna úhlu (šířky) pulsů. Z průběhu předstihových charakteristik (zážeh je iniciován sestupnou hranou pulsu zapalování) lze odečíst okamžik prvního zážehu směsi paliva a vzduchu v prvním válci. Došlo k němu přibližně 25° za horní úvratí po kompresním zdvihu. Takto pozdní zážeh je podle mého názoru řídicí jednotkou proveden z důvodu velmi nízkých startovacích otáček, aby bylo zajištěno bezpečné zapálení za horní úvratí a motor se nemohl rozběhnout v opačném smyslu. Po zvýšení otáček nad hodnotu volnoběžných vlivem krátkodobého částečného otevření škrtící klapky a přechodného zvýšení množství vstřikovaného paliva dojde ke stabilizaci otáček a zážeh následně probíhá asi $3\text{--}5^\circ$ před, případně těsně za HU po kompresi v příslušném válci a nezatíženém motoru.



Graf 4.3: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu zapalování ve stupních natočení KH při startu motoru a úhlová změna šířky pulsu, (1.válec).

4.2. 2. Volnoběžný režim motoru

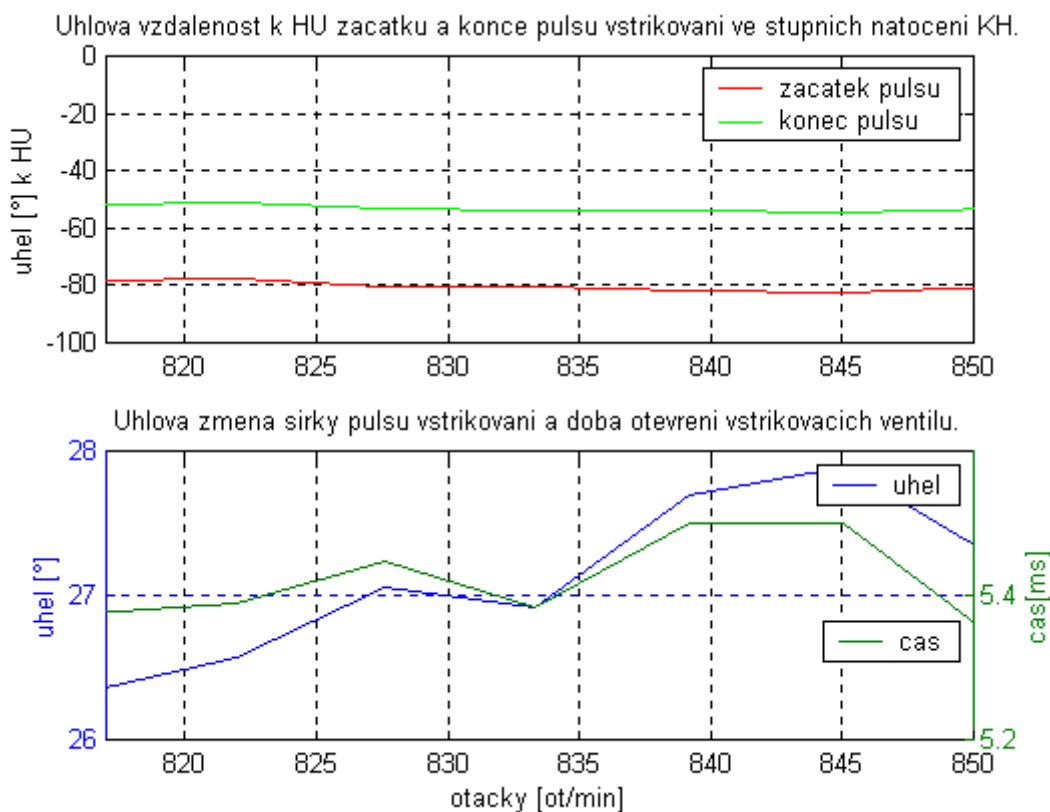
[1][6] Na základě informace o poloze škrtkové klapky, kterou zjišťuje potenciometr a informace o uvolnění pedálu akcelerační (plynu), kterou zajišťuje koncový spínač, řídicí jednotka provádí regulaci volnoběžných otáček. Ty jsou udržovány jednotkou ECU v určitém rozmezí. K udržení volnoběžných otáček, případně zvýšení volnoběžných otáček při studeném motoru, slouží servomotor klapky, u kterého je umístěn spínač volnoběhu a potenciometr klapky. Pro udržení volnoběžných otáček je řídicí jednotkou motoru také prováděna korekce předstihu zážehu a vstřiku. V grafu 4.4. je průběh signálu ze snímače polohy váčkové hřídele, průběhy pulsů vstřikovávání (1.válec) a zapalování (1. a 4. válec) a dále signál od snímače polohy škrtkové klapky a průběh otevření škrtkové klapky pro otáčky pohybující se v rozmezí $800 \div 850$ ot/min. Z výsledků měření je patrné, že při volnoběžném provozu zahřátého motoru k výraznějšímu kolísání otáček nedochází a řídicí jednotka nemusí provádět regulační zásahy otevřením škrtkové klapky, jako tomu bylo při startu motoru.



Graf 4.4: Průběhy signálu polohy vačky, puls vstřikovávání (1.válec) a zapalování (1.a 4. válec) a signál polohy škrtkové klapky.

4.2.2.1. Vstřikování paliva při volnoběžném provozu motoru

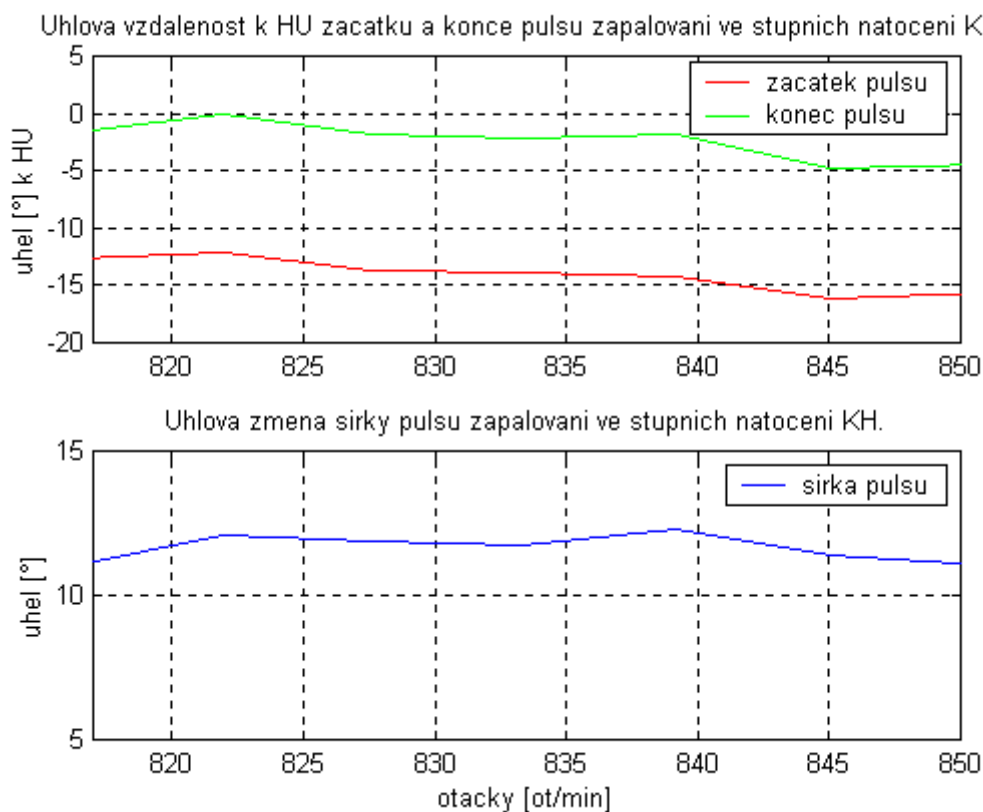
V grafu 4.5. jsou vyneseny programem vypočtené úhlové vzdálenosti k HU po výfuku náběžných a sestupných hran pulsů vstřikování (1.válec) ve stupních natočení klikové hřídele, úhlová změna (změna šířky) pulsů vstřikování a doba otevření vstřikovacích ventilů pro nezatížený motor a volnoběh. Horní úvrať po výfuku je označena 0°. Měření bylo provedeno při volnoběžných otáčkách a nezatíženém motoru. Je patrné, že při tomto provozním režimu a za předpokladu, že motor není studený, se úhlová vzdálenost k HU počátku a konce pulsů vstřikování výrazně nemění. Vstřik směsi paliva a vzduchu je zahájen přibližně 80° a ukončen přibližně 55° před HU po výfuku v příslušném válci. Nedochází ani k výraznější změně šířky pulsů vstřikování, doba otevření vstřikovacích ventilů se pohybuje v rozmezí $5 \div 6$ ms.



Graf 4.5: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsů vstřikování a doba otevření vstřikovacích ventilů při volnoběhu, (1.válec).

4.2.2.2. Předstih zapalování při volnoběžném provozu motoru

V grafu 4.6. jsou vyneseny programem vypočtené úhlové vzdálenosti k HU po kompresi náběžných a sestupných hran pulsů zapalování (1.válec) ve stupních natočení klikové hřídele a úhlová změna (změna šířky) pulsů zapalování. Měření bylo provedeno při volnoběžných otáčkách. Horní úvrať po kompresi je označena 0°. Zážeh směsi paliva a vzduchu je iniciován sestupnou hranou pulsů zapalování. Při tomto provozním režimu zážeh probíhá do 5° před HU, případně těsně za HU po kompresi v příslušném válci. Šířka pulsů zapalování se prakticky nemění. V případě poklesu otáček pod určitou hodnotu je řídicí jednotka naprogramována tak, aby upravila předstih zážehu, případně umožnila nasát větší množství vzduchu do sacího prostoru částečným pootevřením škrtkové klapky z volnoběžné polohy.

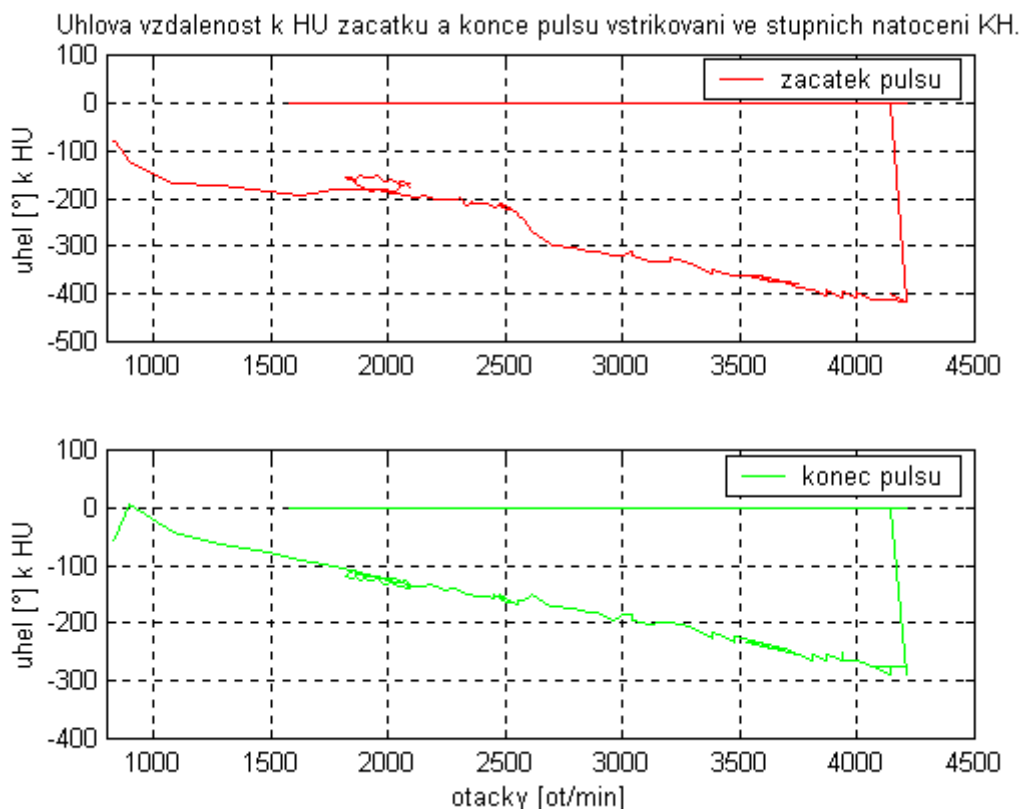


Graf 4.6: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsů zapalování ve stupních natočení KH při volnoběhu a úhlová změna šířky pulsů, (1.válec).

4.2.3. Provoz nezatíženého motoru při zvýšených otáčkách

4.2.3.1. Vstřikování paliva při nezatíženém motoru a zvýšených otáčkách

V grafu 4.7. jsou vyneseny programem vypočtené úhlové vzdálenosti k HU po výfuku sestupných a vzestupných hran pulsů vstřikování (1.válec) ve stupních natočení KH. Na horním průběhu, který představuje úhlovou vzdálenost k HU (po výfuku) sestupné hrany pulsů, tedy začátek vstřiku paliva do sacího prostoru je dobře patrná smyčka, způsobená poklesem otáček v průběhu měření. Spodní průběh představuje úhlovou vzdálenost k HU (po výfuku) vzestupné hrany pulsů, tedy konec vstřiku paliva. Po uvolnění pedálu akcelerace došlo vlivem decelerace motoru k přerušení distribuce paliva do sacího kanálu, což je viditelné na náhlém ukončení průběhů vstřiků. Přerušení dodávky paliva při deceleraci je jednou z metod redukce škodlivých emisí HC a CO. Při deceleraci motoru, kdy je škrtková klapka zavřená, vzniká velký podtlak v sacím traktu a následně dochází k odpaření zbytku paliva ze stěn sacího kanálu a náhlému obohacení směsi a proto dochází k neúplnému spalování.[5]. Při dalším vstřikování paliva by se výrazně zvýšila hodnota emisí nespálených uhlovodíků i oxidu uhelnatého. Přerušení dodávky paliva tudíž zabraňuje vzniku nespálených škodlivých složek.



Graf 4.7: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsů vstřikování.

4.2.3.2. Doba vstřiku paliva při nezatíženém motoru a zvýšených otáčkách

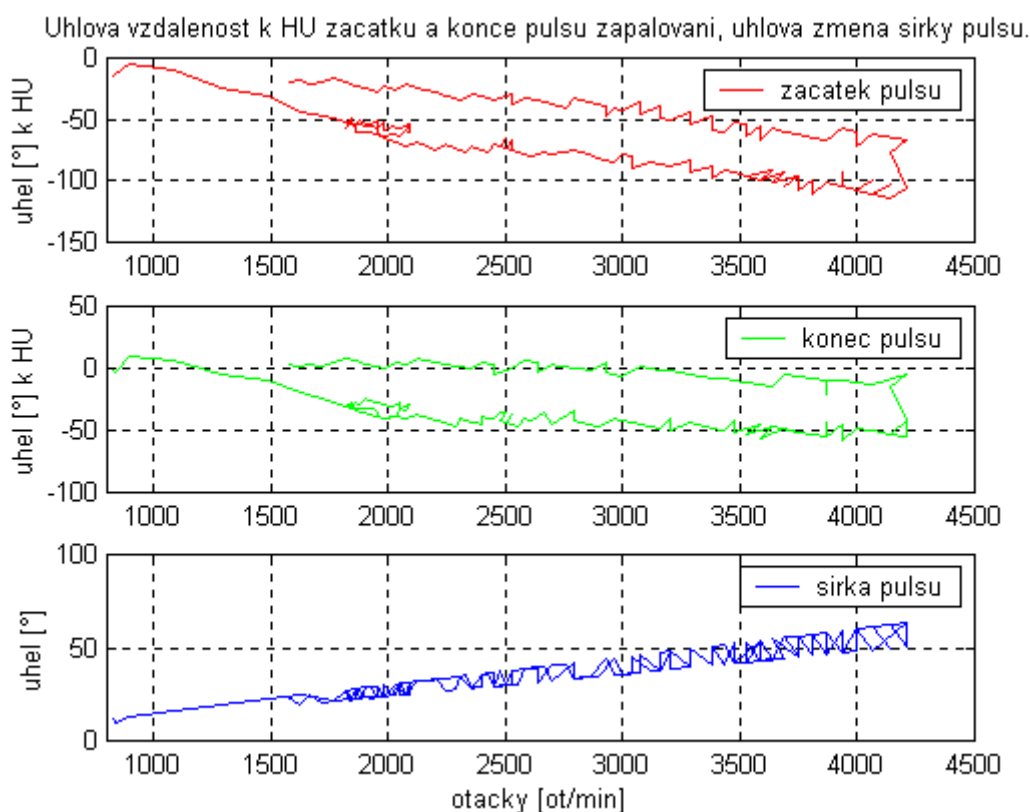
V grafu 4.8. je vynesena programem vypočtená úhlová změna šířky pulsu vstřikování ve stupních natočení klikové hřídele a doba trvání vstřiku paliva v milisekundách. K výrazné změně v množství vstřikovaného paliva došlo po prvním sešlápnutí pedálu akceleraace, kdy se přechodně zvýšilo množství paliva vstřikovaného do sacího prostoru pro dosažení požadovaného zvýšení otáček a vstřikovací ventily byly otevřeny až 25 ms. Po uvolnění pedálu došlo k poklesu množství vstřikovaného paliva. Je patrné, že při další změně polohy pedálu akceleraace při zvýšených volnoběžných otáčkách se množství vstřikovaného paliva již nemění tak značně, vstřikovací ventily byly přechodně otevřeny po dobu přibližně 8 ms a následně došlo k pozvolnému snížení doby otevření na dobu přibližně 5 ms.



Graf 4.8: Změna úhlu šířky pulsu vstřikování ve stupních natočení KH a doba otevření vstřikovacích ventilů.

4.2.3.3. Předstih zapalování při nezatíženém motoru a zvýšených otáčkách

V grafu 4.9. jsou vyneseny programem vypočtené úhlové vzdálenosti k HU1 po kompresi vzestupných a sestupných hran pulsu zapalování (1.válec) ve stupních natočení klikové hřídele a úhlová změna (změna šířky) pulsu zapalování pro nezatížený motor a rostoucích otáčkách. I na těchto průbězích je patrná smyčka způsobená poklesem otáček v průběhu měření. Horní úvrat' (po kompresi) je označena 0°. Z prostředního grafu, který reprezentuje předstih zážehu směsi paliva a vzduchu v prvním válci (zážeh je prováděn sestupnou hranou pulsu), je zřejmé, že v okamžiku přerušení dodávky paliva do sacího prostoru řídicí jednotka výrazně sníží předstih zážehu a zážeh probíhá těsně před, případně horní úvratí po kompresi v příslušném válci. Palivo přestalo být do sacího kanálu vstřikováno z důvodu decelarace motoru. Z posledního grafu je patrné, že s rostoucími, resp. klesajícími otáčkami se šířka pulsu zapalování nemění.

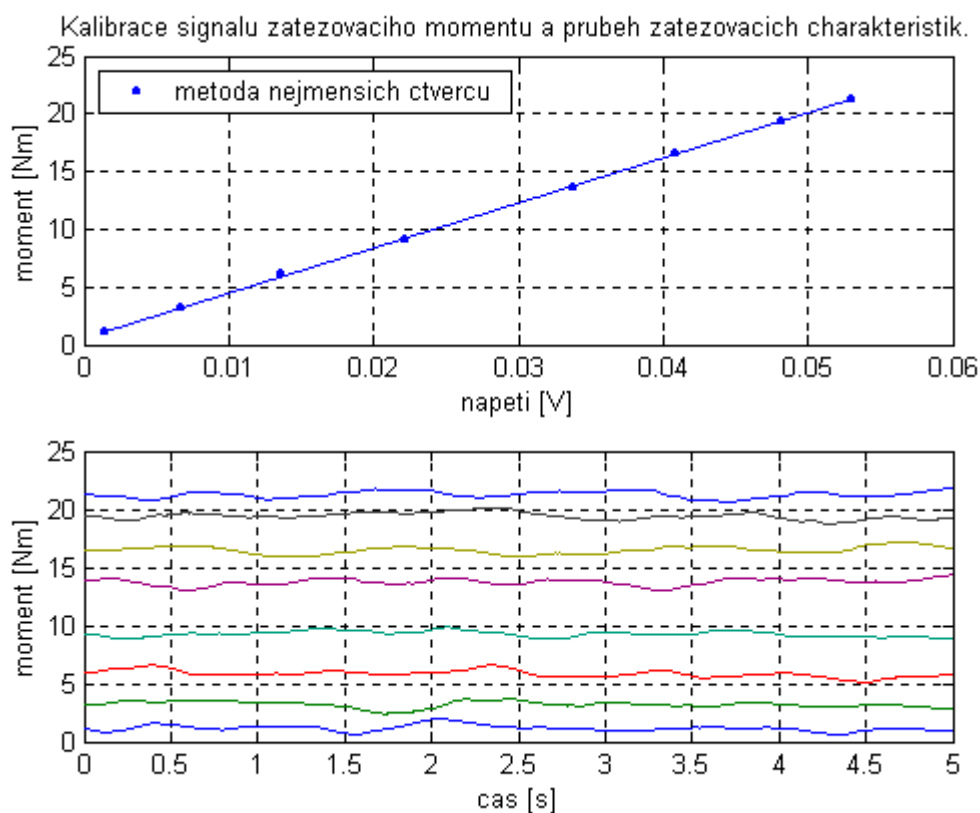


Graf 4.9: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu zapalování ve stupních natočení KH při rostoucích otáčkách a úhlová změna šířky pulsu, (1.válec).

4.3. Motor v zátěži

4.3.1. Kalibrace momentové charakteristiky

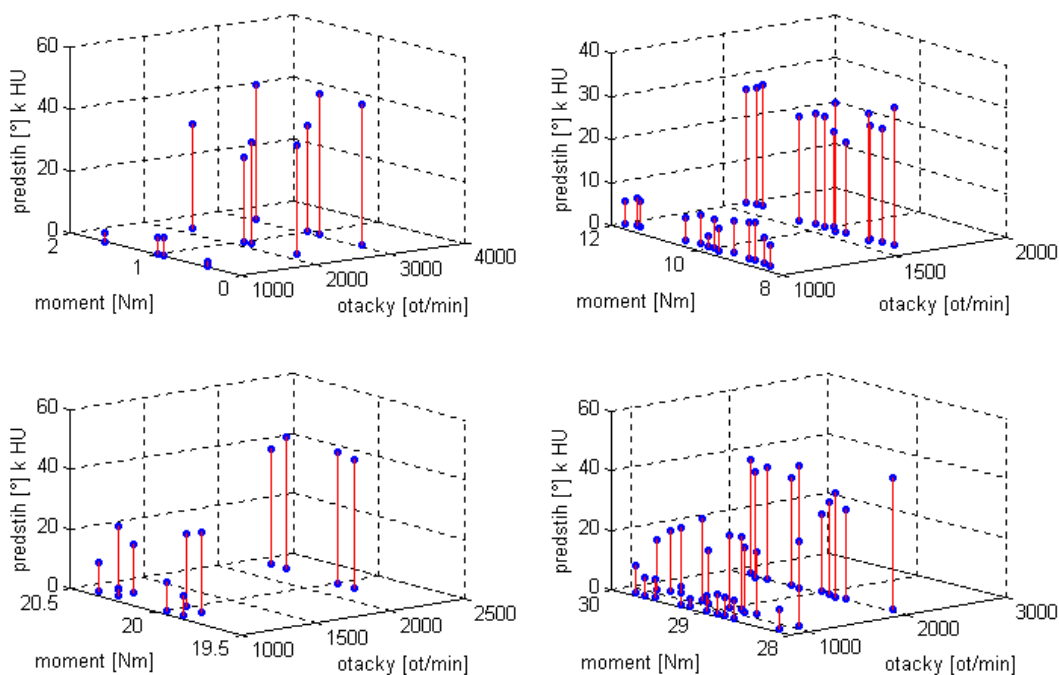
Motor je určen k pohonu zatěžujícího pracovního stroje [9]. Pro posouzení spolupráce motoru se zátěží je potřeba motor připojit k brzdě, která na motor působí právě jako zátěž. Pomocí odporu kladeného brzdou lze určit kroutící moment motoru. K získání momentové charakteristiky, tedy určení skutečné hodnoty momentu bylo nutné provést kalibraci napěťového signálu ze snímače momentu na brzdě. Signál byl odebírán z příslušného konektoru ve skříni ovladače brzdy. Na skříni ovladače brzdy umístěné zobrazovací zařízení udává skutečnou hodnotu zatěžovacího momentu v Nm. Po provedení měření pro osm různých zatížení a odečtení příslušných hodnot momentů v Nm ze zobrazovacího zařízení jsem proložení regresní přímkou hodnotami napětí a momentů získal směrnici a koeficient. Vynásobením napěťového signálu (od snímače momentu) směrnici a přičtením koeficientu získám hodnotu momentu v Nm pro každý vzorek. Ukázalo se, že charakteristika snímače je lineární se zanedbatelnými odchylkami.



Graf 4.10: Kalibrace signálu zatěžovacího momentu a průběhy momentových charakteristik po kalibraci pro různá zatížení.

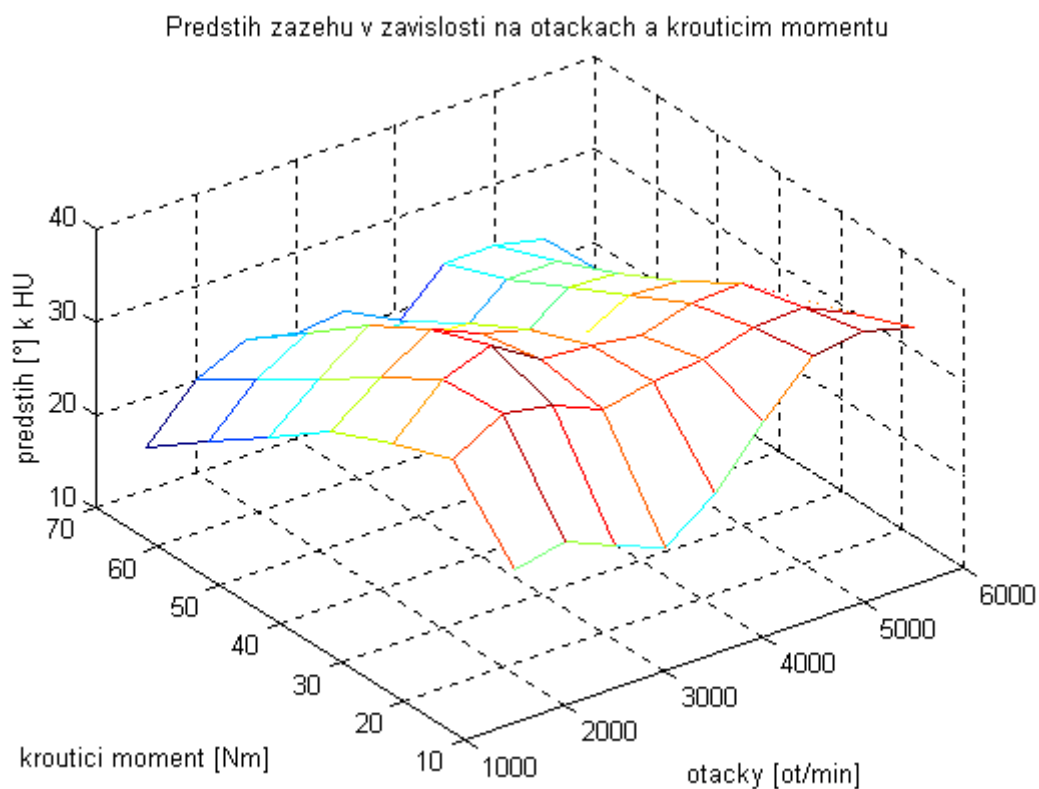
4.3.2. Předstih zážehu směsi při zatíženém motoru

V grafu 4.11. jsou vyneseny úhlové vzdálenosti k HU po kompresi (1.válec) sestupných hran pulsů zapalování (sestupnou hranou pulsu je iniciován zážeh směsi) v závislosti na otáčkách a kroutícím momentu pro různá zatížení motoru brzdou.

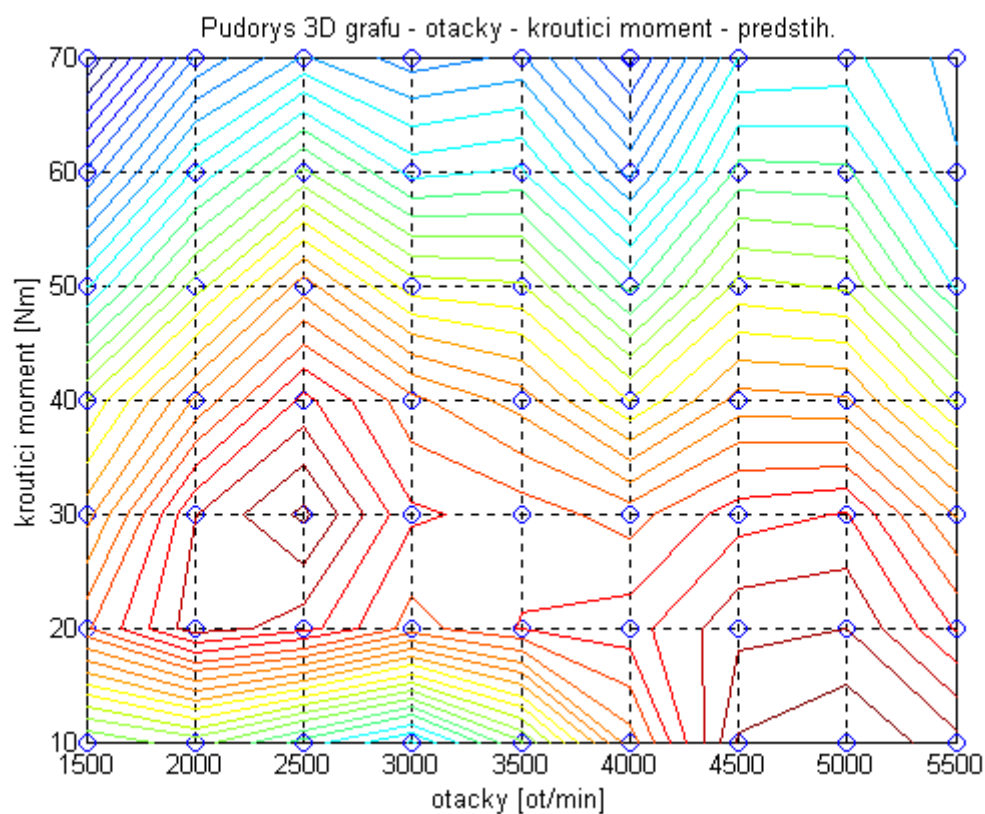


Graf 4.11: Úhlová vzdálenost (předstih) k HU sestupné hrany pulsu zapalování ve stupních natočení KH, (1.válec).

V grafu 4.12. je vynesen 3D graf předstihu zážehu čtyřdobého spalovacího motoru v závislosti na otáčkách a kroutícím momentu motoru pro vyšší hodnoty kroutícího momentu a větší rozsah otáček. V grafu 4.13. je pro lepší orientaci naznačen půdorys grafu 4.12. s označením jednotlivých bodů (dvojice otáčky - kroutící moment) tvořících rovnoměrnou síť v rovině xy. V grafu 4.13. je patrná například extrémní hodnota předstihu (je to v podstatě extrém funkce popisující plochu z grafu 4.12.) pro 2500 otáček za minutu a kroutící moment 30 Nm. Pro 3D graf předstihu zážehu bylo nutné provést drobné korekce datových hodnot, tak aby právě v rovině xy vznikla rovnoměrná síť.



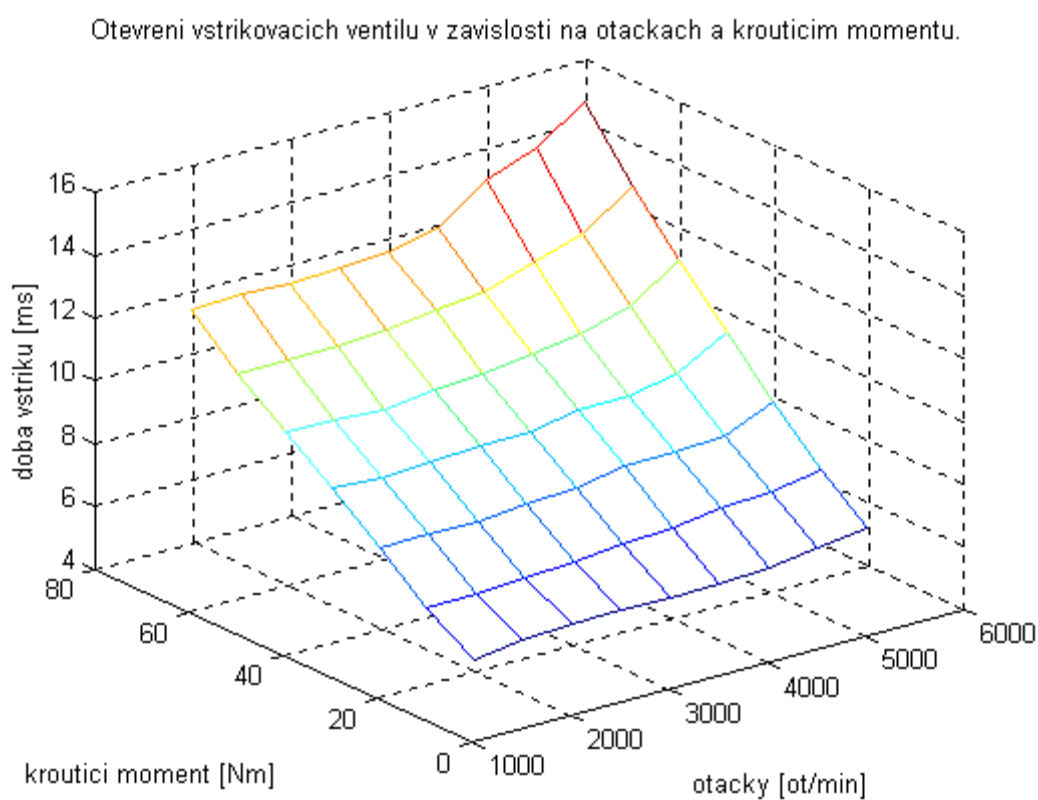
Graf 4.12: Předstih zážehu v závislosti na otáčkách a krouticím momentu.



Graf 4.13: Půdorys grafu 4.12.

4.3.3. Množství vstřikovaného paliva při zatíženém motoru

V grafu 4.14. je vyneseno 3D graf znázorňující dobu otevření vstřikovacích ventilů čtyřdobého spalovacího motoru v závislosti na otáčkách a kroutícím momentu motoru pro vyšší hodnoty kroutícího momentu a větší rozsah otáček. Také pro tento 3D graf bylo nutné provést drobné korekce datových hodnot, tak aby v rovině xy vznikla rovnoměrná síť. Je patrné, jak je pro rostoucí otáčky a zatížení motoru zvyšována doba otevření vstřikovacích ventilů, tzn. roste množství vstřikovaného paliva.



Graf 4.14: Doba otevření vstřikovacích ventilů v závislosti na otáčkách a kroutícím momentu.

5. Systém řízení volnoběžného režimu motoru

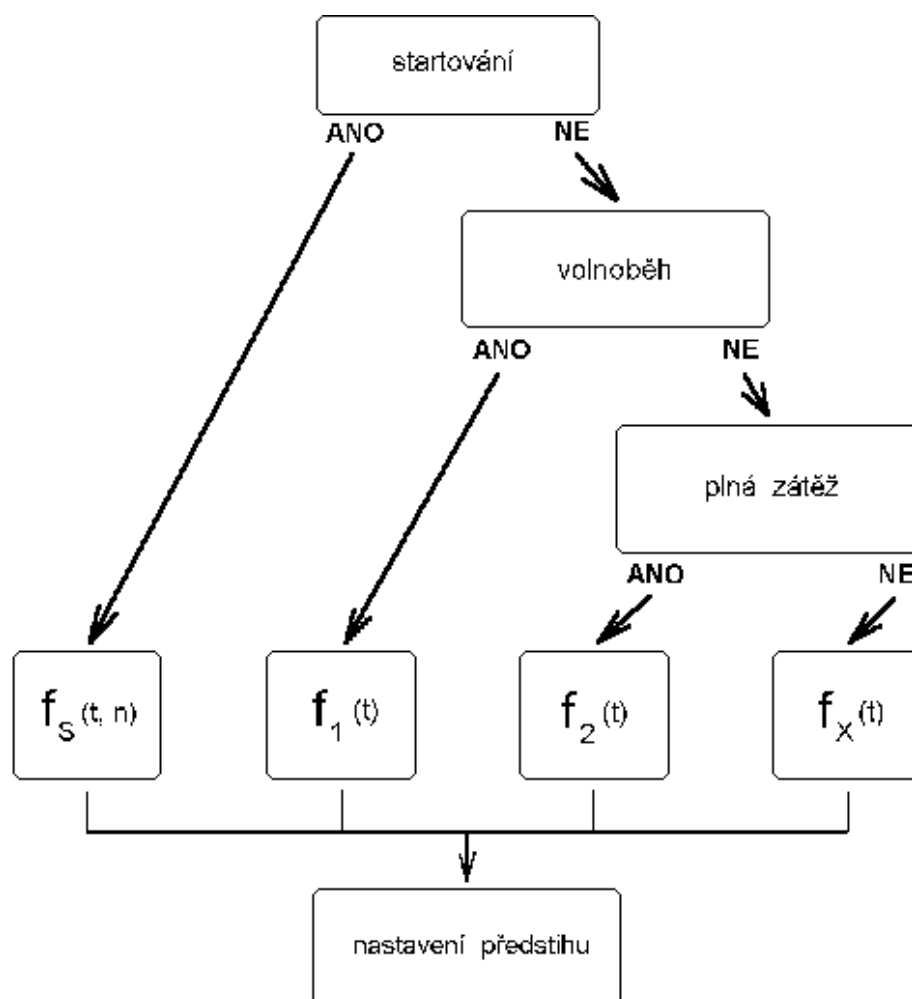
V programu pro řízení vstřikování a zapalování při volnoběžném režimu motoru používám a zpracovávám signál polohy vačkové a klikové hřídele tak, jak to činí řídicí jednotka motoru. Pomocí těchto signálů, určuji polohu mechaniky motoru resp. okamžiky horních úvratí v jednotlivých válcích. Vše je psáno v podobě tzv. m-files v programu Matlab. V závislosti na otáčkách a podle hodnot získaných z naměřených dat jsou v programu nastaveny úhly vstřiku a hodnoty předstihu zážehu. Dále jsou v programu začleněny základní regulační mechanismy jako je regulace obsahu spalín ve výfukových plynech, či korekce vstřikování na teplotu motoru. Program je rozdělen do dvou částí pro ošetření startu motoru a následné řízení jmenovitých volnoběžných otáček. Výsledné charakteristiky pro vstřik a zážeh (pro druhý válec) dosažené programově porovnám s řízenými jednotkou ECU.

5.1. Elektronická regulace předstihových charakteristik

[5] Pro realizaci složitých průběhů předstihových charakteristik vyplývá nutnost co nejpřesnějšího určení hodnot vstupních veličin, zejména polohy klikové hřídele, otáček a zatížení motoru. Zatížení motoru je určováno snímačem podtlaku v sacím potrubí. Elektronický převodník pro snímač podtlaku bývá zpravidla umístěn v řídicí jednotce. Na základě signálů ze snímačů se nastavuje hodnota předstihu podle průběhu předstihové charakteristiky, která je pro příslušný motor naprogramována v řídicí jednotce. Jedna z možných koncepcí, vedoucích k dosažení požadovaného předstihu předpokládá, že hodnota předstihu α je dána jednou funkcí více proměnných. $\alpha = f(n, p \dots)$ (1)

Kde n představuje otáčky motoru, p reprezentuje tlak nasávaného vzduchu a do výpočtu je možné zahrnout i další veličiny, například ze snímače klepání. Pro regulaci předstihu je používán mikropočítač, který umožňuje realizovat nejen složitou závislost předstihu na otáčkách a zatížení motoru, ale ani regulace podle dalších veličin není obtížná. Mikropočítač dostává informace o parametrech motoru z příslušných snímačů. Ze vstupních údajů provádí výpočet funkce (1) a po jeho ukončení přijme rozhodnutí, jaký předstih α je optimální a vydá signál pro zážeh. Ústřední část počítače, která provádí výpočet optimálního předstihu je mikroprocesor, jehož funkci lze měnit zadáním vhodného programu. Postup výpočtu předstihu je zadáván v pořadí dle závažnosti vstupních parametrů. Jde tedy o součástku více méně univerzální a její funkce je v rozhodující míře závislá na řídicím programu, ve kterém jsou zadány povely pro mikroprocesor. Tento program je zapsán v paměti ROM, ze které

mikroprocesor čte postupně jednotlivé povely, které má vykonat. Program je určován provedením a zamýšlenou funkcí systému, počtem snímačů a druhem jejich signálů, pořadím jejich závažnosti, druhem funkce výstupních prvků systému atd. Může tedy sloužit pro více obdobných zařízení. Parametry konkrétního motoru, které jsou nezbytné k provedení výpočtu, mohou být uloženy ve vnější paměti, obvykle typu PROM, kterou si může výrobce motoru naprogramovat nebo přeprogramovat dle potřeb motorů i s přihlédnutím k výrobním změnám. V paměti PROM jsou uložena pole předstihových charakteristik, závislých na otáčkách a zatížení motoru pro různé režimy provozu motoru. Mimo tyto součásti jsou v mikropočítači paměti typu RAM, do které mikroprocesor ukládá dílčí výpočty a pak je používá dle instrukcí programu. Dále obvody vstup/výstup, ve kterých se převádí vstupní a výstupní signály na vhodnou formu pro zpracování a provedení příslušných operací. Protože celá činnost musí být synchronizována, aby regulační proces správně proběhl, je obvyklou částí mikropočítače i časovač. Na dalším obrázku je zjednodušený funkční diagram programu uloženého v ROM paměti, naznačující postup výpočtu předstihu s využitím pole charakteristik z PROM paměti.



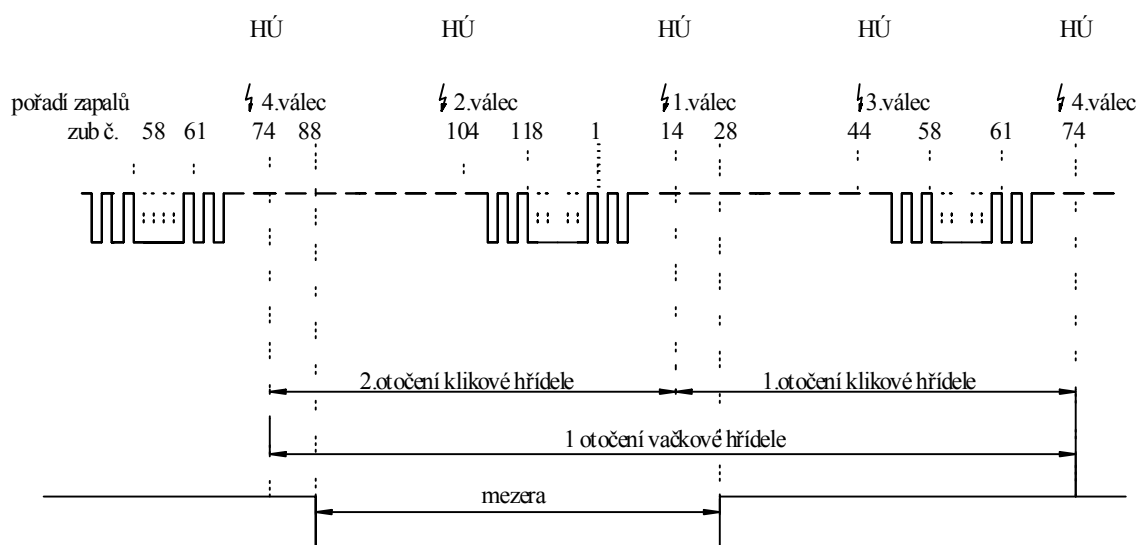
Obr.5.1: Postup výpočtu hodnoty předstihu.

Program výpočtu vychází z předpokladu, že je zapalovací systém zapnut. Prvním krokem je zjištění, zda je motor v chodu. Pro startování se použije předstihové charakteristiky - $f_s(t,n)$, která je funkcí startovacích otáček a teploty motoru. Toto pole charakteristik je v paměti PROM umístěno jinde než předstihové charakteristiky pro výpočet předstihu při volnoběžném režimu, nebo zatíženém motoru. Druhým krokem programu je zjištění, zda je motor ve volnoběžném režimu. Jako informace slouží snímač polohy škrtkové klapky. Je-li klapka ve volnoběžné poloze použijí se pro výpočet předstihu příslušné hodnoty z pole charakteristik ($f_1(t)$), tyto slouží současně i pro korekci předstihu při deceleracích motoru, kdy se škrtková klapka vrátí zpět do volnoběžné polohy. Při jmenovitých volnoběžných otáčkách je předstih nejmenší. Pro otáčky, které jsou nižší než jmenovité volnoběžné, je předstih zvyšován, aby se dosáhlo stabilizace volnoběžného chodu zvýšením krouticího momentu motoru (s větším předstihem se zvýší tepelná účinnost pracovního cyklu). Na základě informace poskytované snímačem teploty chladicí kapaliny je prováděna korekce podle teploty motoru pro nejrychlejší zahřátí motoru na provozní teplotu. Dalším krokem je zjištění, zda je motor zatížen. Pokud je škrtková klapka otevřena maximálně (plný plyn), což odpovídá maximálnímu zatížení motoru, provádí se výpočet předstihu podle příslušných hodnot z pole charakteristik ($f_2(t)$). Zde jsou naprogramovány předstihy pro nejvyšší krouticí moment s přihlédnutím k mezi klepání. U vypočtené hodnoty předstihu se opět provádí korekce podle teploty motoru, předstih je korigován negativně, tj. s rostoucí teplotou motoru se snižuje. Tím se snižuje nadměrné přehřívání motoru jeho přílišným zatěžováním. Není-li škrtková klapka v žádné z obou krajních poloh, pracuje motor v částečném zatížení a předstih se vypočítá z pole charakteristik v závislosti na otáčkách a zatížení motoru - $f_x(t)$. U vypočtené hodnoty se opět provádí korekce podle teploty. Průběh korekce může být poněkud jiný, než u předchozích provozních režimů. Výsledná vypočtená hodnota předstihu se vztahuje k úhlu natočení klikové hřídele. Její poloha je nepřetržitě snímána příslušným snímačem a jakmile je shodná s polohou vypočtenou mikropočítačem, dojde k zážehu. Ten je vyvolán činností dalších obvodů elektronické části. Podstatná výhoda takovéto realizace předstihových charakteristik spočívá v možnosti zahrnout do programu výpočtu i interpolaci mezi body uloženými v paměti pole charakteristik. K dalším výhodám patří možnost jednoduchého rozšíření o další parametry regulace, například o signál ze snímače klepání.

[6] V případě řídicí jednotky Simos 3PA není z důvodu absence externí PROM paměti výrobcí motoru umožněno přeprogramování řídicí jednotky pro různé typy motoru. Z tohoto důvodu není jednotka vhodná ani pro tzv. chiptuning, jehož provedením je možno zvýšit výkonové parametry motoru, zpravidla na úkor jeho životnosti.

5.2. Určení polohy klikového mechanismu motoru

[1] Na obrázku 5.2. je znázorněn průběh signálu otáček motoru a signálu polohy vačkové hřídele. Z průběhů je patrné jejich zpracování v řídicí jednotce pro stanovení přesné polohy mechaniky motoru, které je nezbytné pro určení okamžiků vstřiku a zážehu. Jak je naznačeno, mezera na obvodu setrvačníku je situována oproti 59. a 60. zubu setrvačníku klikové hřídele. Pokles signálu ze snímače polohy vačkové hřídele je vztažen k 88. zubu setrvačníku klikové hřídele, tzn. 14 zubů (84°) po HU pístu ve čtvrtém válci. Nárůst signálu je vztažen k 28. zubu setrvačníku klikové hřídele po mezeře, tzn. 14 zubů (84°) po HU pístu v prvním válci při kompresi.

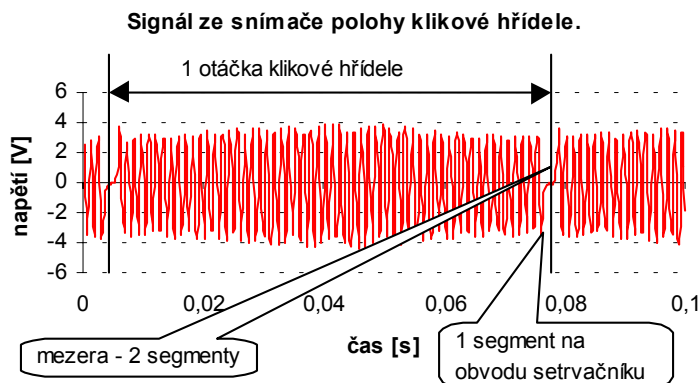


Obr.5.2: Zpracování signálu polohy vačkové a klikové hřídele řídicí jednotkou.

5.2.1. Zpracování signálu ze snímače polohy klikové hřídele

Pro správné vyhodnocení a zpracování signálu poskytovaného indukčním snímačem otáček, který snímám s danou vzorkovací periodou je nezbytné zachytit mezeru vzniklou vynecháním dvou impulsních segmentů na obvodu setrvačníku. To lze realizovat porovnáváním napěťové úrovně vzorků signálu, která dosahuje v okolí mezery určitou charakteristickou hodnotu. Napěťovou úroveň jsem určil analýzou naměřených dat. Zachycením dvou po sobě následujících mezer získám periodu otáčky klikové hřídele. Z periody otočení klikové hřídele lze jednoznačně určit úhlové natočení klikové hřídele za jednotku času a na základě toho (obrázek 5.2.) vypočítat okamžiky horních úvratí pístů

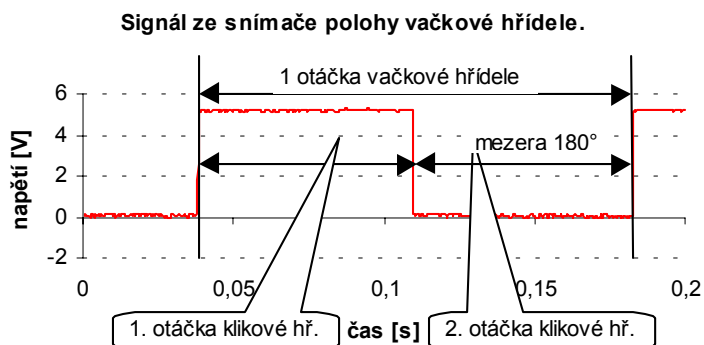
v jednotlivých válcích a fázi pracovního cyklu motoru. Na obrázku 5.3. je označena mezera v signálu vzniklá vynecháním impulsních segmentů.



Obr.5.3: Signál polohy klikové hřídele.

5.2.2. Zpracování signálu ze snímače polohy vačkové hřídele

Signál polohy vačkové hřídele umožňuje rozlišit zda je válec v sacím nebo pracovním zdvihu (pouze se signálem snímače polohy klikové hřídele by to nebylo možné). Zpracováním naměřených dat jsem určil napěťové úrovně signálu a v programu porovnáním hodnoty napětí předcházejícího a následujícího vzorku určím zda jde o vzestupnou, resp. sestupnou hranu pulsu. Z technické dokumentace k tomuto motoru (obrázek 5.2.) jsem zjistil nastavení úhlové vzdálenosti jednotlivých horních úvratí od vzestupné, resp. sestupné hrany pulsu signálu polohy vačky a na základě toho jsem schopen v programu vypočítat polohy horních i dolních úvratí. Na níže uvedeném obrázku je průběh signálu polohy vačkové hřídele s naznačenou mezerou vzniklou působením clony na indukční snímač. Z obrázku je patrná souvislost mezi otočením vačkové a klikové hřídele, která vyplývá z jejich mechanické vazby.

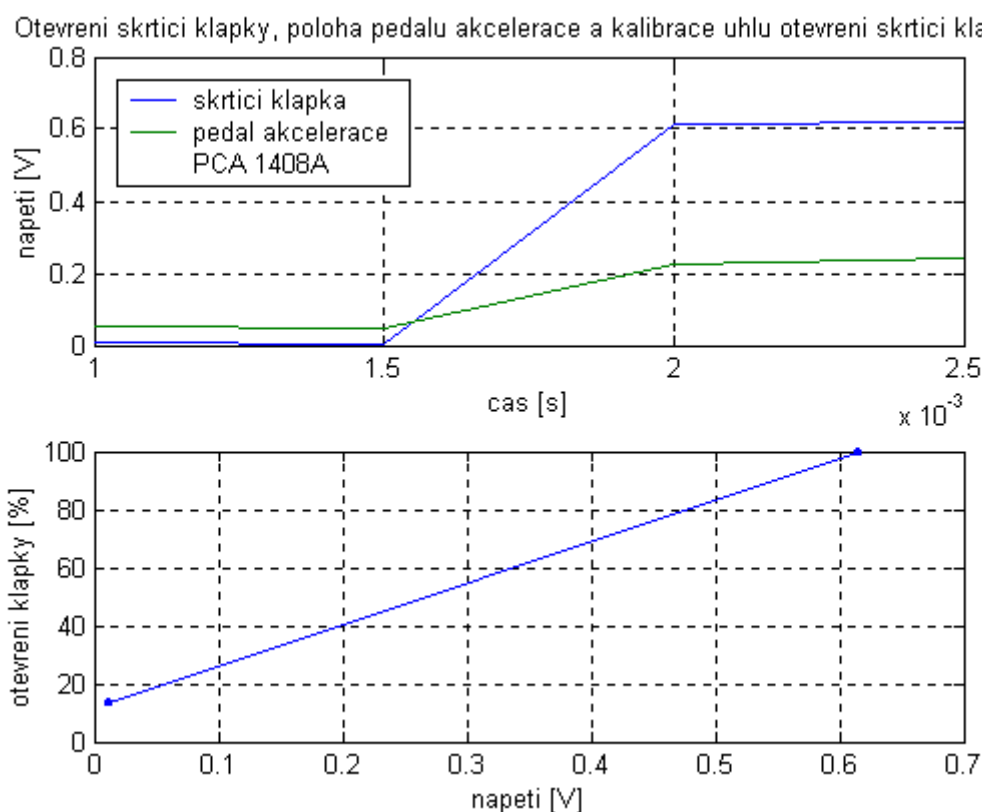


Obr.5.4: Signál polohy vačkové hřídele.

5.3. Zpracování signálu ze snímače polohy škrťací klapky

Snímač úhlu otevření škrťací klapky poskytuje napěťový signál. [1] S využitím toho, že se škrťací klapka pohybuje lineárně, jsem provedl kalibraci úhlu otevření škrťací klapky jak je naznačeno v grafu 5.1. Minimální napěťová úroveň signálu ze snímače otevření škrťací klapky odpovídá poloze klapky při volnoběžném chodu motoru, kdy je škrťací klapka otevřena přibližně 15°. Maximální otevření škrťací klapky je 90° a tomu odpovídá maximální napěťová úroveň signálu. Takto jsem získal hodnoty napětí příslušející jednotlivým polohám škrťací klapky od minimálního otevření po úplné otevření škrťací klapky.

V programu je v souladu s výsledky analýzy dat naměřených při startu motoru zajištěno krátkodobé pootevření škrťací klapky v průběhu startu, kdy je nutné nasát dostatečné množství vzduchu pro zvýšení otáček z hodnoty startovacích. Při hlubším poklesu otáček pod určitou hodnotu při volnoběhu je škrťací klapka také přechodně pootevřena a pro malé odchylky se zvyšuje hodnota předstihu zážehu pro stabilizaci volnoběžných otáček zvýšením krouticího momentu.

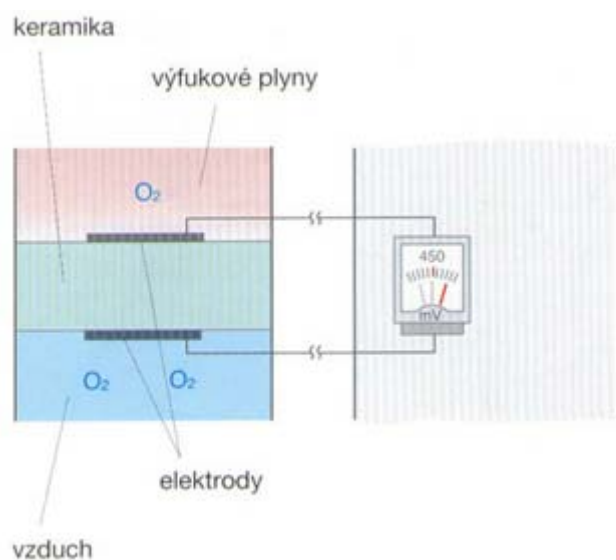


Graf 5.1: Průběh signálu polohy škrťací klapky a pedálu akcelerace, kalibrace otevření škrťací klapky.

Tímto způsobem je ošetřeno kolísání volnoběžných otáček způsobené například nepravidelným zvýšením množství spalin, které ve válci zůstaly pro předchozím pracovním cyklu z důvodu nedokonalého výplachu válce. V době překrytí otevření sacího a výfukového ventilu je propojen výfukový trakt (v němž je přibližně atmosférický tlak) se sacím, kde je naopak značný podtlak a část spalin může proniknout až do sacího traktu. V následujícím pracovním cyklu jsou tyto zbytkové spaliny nasáty do válce, kde mohou ovlivnit kvalitu hoření a velikost vykonané práce v tomto pracovním cyklu, což se projeví poklesem volnoběžných otáček motoru.

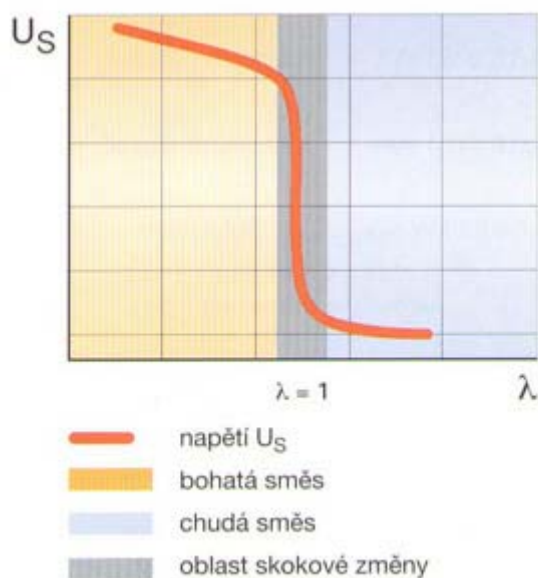
5.4. Lambda regulace

[2][5] Pro regulaci obsahu spalin ve výfukových plynech je využit napěťový signál, který poskytuje lambda-sonda. Podle koncentrace kyslíku ve výfukových plynech je hodnota napětí signálu $100 \div 900$ mV. Při bohaté směsi, tedy směsi s přebytkem paliva ($\lambda < 1.0$) jsou hodnoty napětí v rozmezí $800 \div 900$ mV, naopak při chudé s přebytkem vzduchu ($\lambda > 1.0$) je hodnota napětí jen asi 100 mV. Stechiometrické směsi ($\lambda = 1.0$) odpovídá napětí 450 mV. V přechodové oblasti z bohaté do chudé směsi se napětí mění skokově.



Obr.5.5: Funkce lambda-sondy.

Signál lambda-sondy je v programu reprezentován generovanými hodnotami napětí, které se pohybují v okolí stochiometrické hodnoty. V každém pracovním cyklu motoru, tedy při každé otáčce klikové hřídele je sledována hodnota napětí poskytovaného lambda-sondou. V případě zjištění odchylky signálu od požadované (stechiometrické) hodnoty je v programu prováděna korekce množství vstřikovaného paliva v podobě změny šířky pulsu vstřikování.



Obr.5.6: Skoková změna napětí při přechodu z bohaté do chudé směsi.

5.5. Teplota chladicí kapaliny

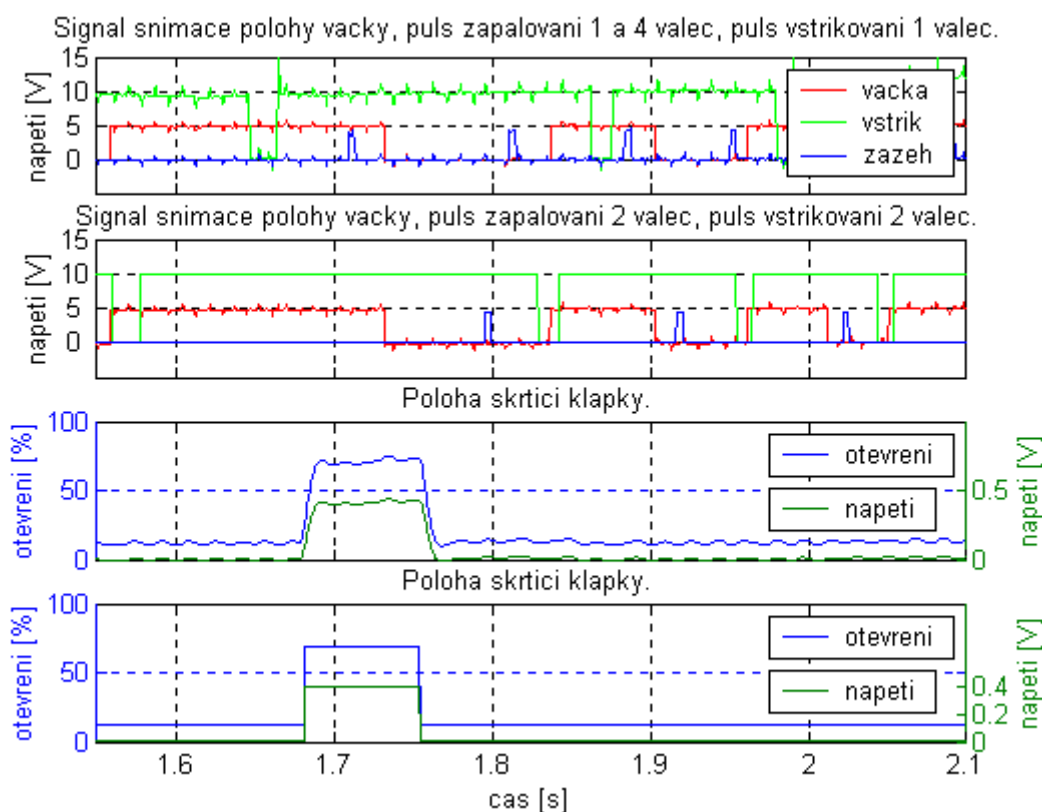
Při volnoběhu vyhodnocuje řídicí jednotka teplotu chladicí kapaliny na základě signálu poskytovaného odporovým snímačem teploty a provádí korekci otáček motoru podle přednastavené křivky. Při nižších teplotách je směs paliva a vzduchu obohacována a dochází k částečnému otevření škrtící klapky. Po dosažení provozní teploty jsou volnoběžné otáčky udržovány na co nejmenší hodnotě jak z důvodů ekonomických, tak i pro snížení obsahu spalín ve výfukových plynech. Na druhé straně jsou stanoveny s ohledem na frekvenční vlastnosti pružného uložení agregátu, kde otáčková frekvence nesmí ležet v blízkosti žádného rezonančního modu uložení. Za provozní lze považovat teplotu chladicí vody v rozmezí asi $80 \div 115^{\circ}\text{C}$.

Z provedených měření nebylo možné určit zcela přesně kvantitativní rozdíly v množství vstřikovaného paliva při startu studeného motoru a opakovaném startu motoru ohřátého na provozní teploty. Motor byl umístěn na zkušební stoličce ve vytápěné místnosti a jeho teplota při prvním startu nikdy nedosahovala výrazně nižších hodnot. V souladu s výše uvedeným platí, že množství vstřikovaného paliva u motoru studeného je vyšší. V programu je zahrnuta regulace množství vstřikovaného paliva na základě teploty motoru. Signál ze snímače teploty je v programu zastoupen generovanými hodnotami teploty. V případě, že teplota chladicí kapaliny nebude v rozmezí $80 \div 115^{\circ}\text{C}$, je směs ochuzena, resp. obohacena

(změnou šířky vstřikovacího pulsu) podle toho, zda bude pod nebo nad hranicí vymezenou intervalem. Teplota chladicí kapaliny je v programu sledována v průběhu každé otáčky KH.

5.6. Start motoru

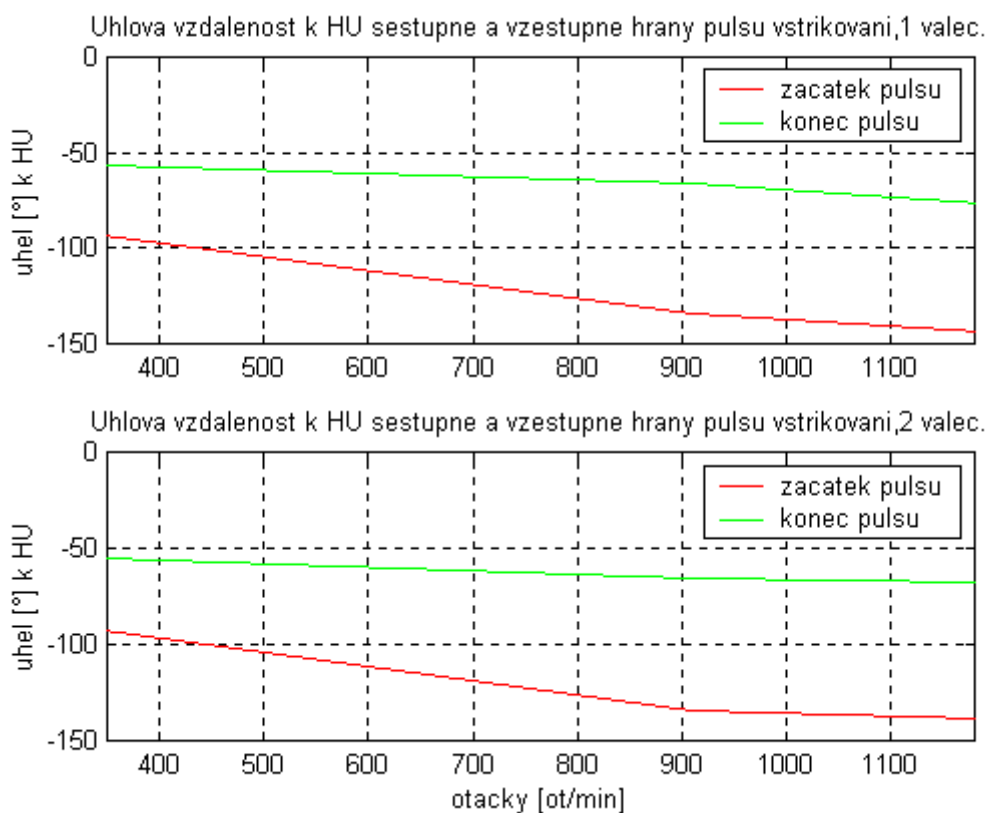
Na základě výsledků, které jsem získal zpracováním naměřených dat, jsem zjistil, jaké množství paliva a jaký předstih zážehu volí řídicí jednotka při první otáčce motoru a dalším provozu. Z toho jsem vycházel při nastavení těchto charakteristik pro řízení vstřiku paliva a jeho zážehu u druhého válce. V grafu 5.2. jsou vyneseny nejprve průběhy signálu ze snímače polohy vačkové hřídele a pulsy vstřikování (1.válec) a zapalování (1.a 4.válec). Tyto jsou řízeny jednotkou ECU. Níže jsou vyneseny pulsy vstřikování a zapalování (2.válec), které jsou řízené programem. Dále je vynesen průběh signálu polohy škrticí klapky a poloha klapky, která byla řídicí jednotkou pootevřena pro zvýšení otáček z hodnoty startovací. Jako poslední je naznačeno částečné otevření klapky zajištěné programem.



Graf 5.2: Signál polohy vačky, průběhy pulsů vstřikování, zapalování a otevření škrticí klapky, řízeno ECU a programově.

5.6.1. Vstřikování paliva při startu motoru

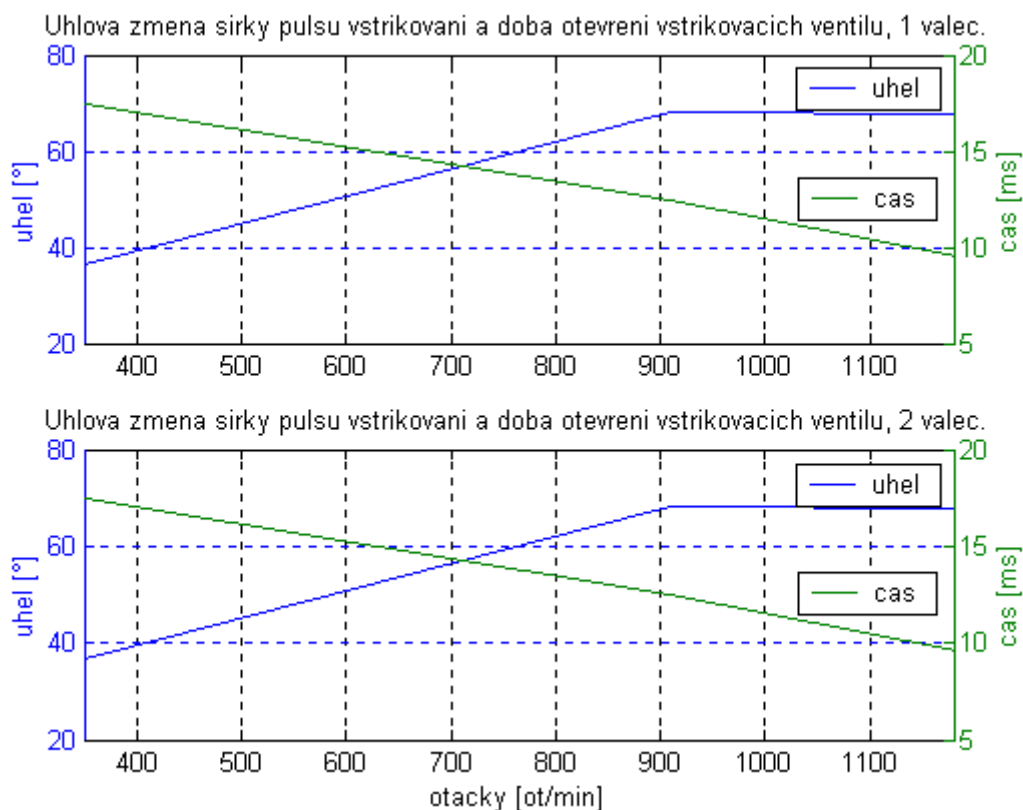
V níže grafu 5.3. jsou vyneseny úhlové vzdálenosti k HU (po výfuku) začátku a konce pulsu vstřikování ve stupních natočení klikové hřídele. Horní úvrať po výfuku je označena 0°. Začátek pulsu reprezentuje začátek vstřiku (otevření vstřikovacích ventilů) a konec pulsu postihuje konec vstřiku (uzavření vstřikovacích ventilů). Charakteristiky v horním grafu představují úhel vstřiku (1.válec), který je řízen jednotkou ECU. Ve spodním grafu je vynesen úhel vstřiku (2.válec), který je řízen programem. Pulsy vstřikování, které v podstatě dávají pokyn vstřikovacím ventilům k jejich otevření, jsou v programu generovány v závislosti na otáčkách klikové hřídele. Úhlové vzdálenosti hran pulsů k HU po výfuku jsou nastaveny v souladu s výsledky z dat zpracovaných pro tento provozní režim motoru. Protože jednotka ECU po krátkou dobu po startu motoru nepoužívá pro regulaci signál lambda-sondy (důvodem je například nízká teplota výfukových plynů a nutnost ohřát keramiku sondy na stanovenou teplotu) a reguluje po dobu přibližně 30 sekund podle vlastního programu, neuvažují v programu pro start motoru regulaci lambda-sondou. Při odchylce teploty chladicí kapaliny od stanoveného intervalu (viz.5.5.) je provedeno obohacení směsi změnou šířky pulsu vstřiku.



Graf 5.3: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu vstřikování, první válec (řízeno jednotkou ECU), druhý válec (řízeno programem).

5.6.1.1. Množství vstřikovaného paliva při startu motoru.

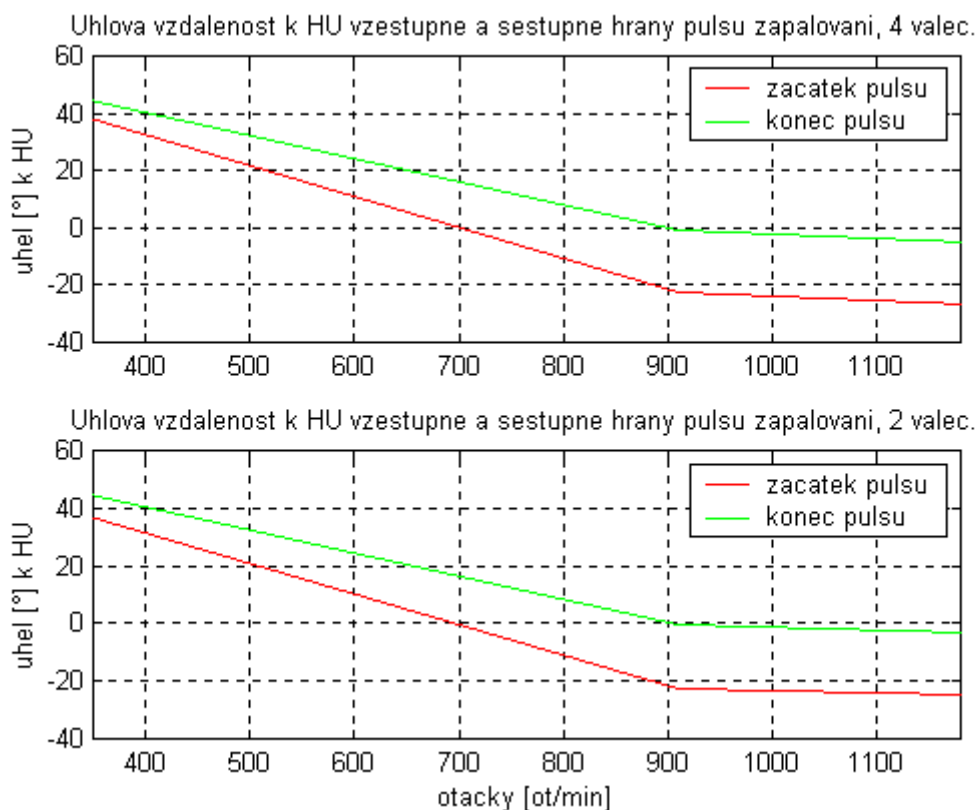
V grafu 5.4. jsou vyneseny úhlové změny šířky pulsu vstřikování (změna množství vstřikovaného paliva) ve stupních natočení klikové hřídele a doba otevření vstřikovacích ventilů. Výše jsou průběhy uvedených změn pro první válec, pro který bylo vstřikování řízeno jednotkou ECU. Ve spodním grafu jsou vyneseny charakteristiky pro druhý válec a vstřik řízený programem. Je vidět, že při startu motoru je nutné přechodně distribuovat do sacího kanálu větší množství paliva pro zvýšení otáček z hodnoty startovacích (první otáčka klikové hřídele může být v rozmezí $350 \div 400$ ot/min) na volnoběžné, případně zvýšené volnoběžné po startu studeného motoru. Dodávka většího množství paliva je zajištěna delší dobou otevření vstřikovacích ventilů. Ty byly při prvním vstřiku paliva otevřeny po dobu přibližně 17 ms a následně je doba otevření snížena na 10 ms a pro stabilizovaný volnoběh jsou ventily otevírány na dobu přibližně 5 ms. Doba otevření vstřikovacího ventilu pro transport paliva do sacího kanálu druhého válce (řízeno programem) byla nastavena v souladu s výsledky měření. V programu je ošetřeno zvýšení množství paliva při poklesu teploty chladicí kapaliny pod určitou hodnotu (viz. 5.5.)



Graf 5.4: Úhlová změna šířky pulsu vstřikování a doba otevření vstřikovacích ventilů, první válec (řízeno jednotkou ECU), druhý válec (řízeno programem).

5.6.2. Předstih zapalování při startu motoru

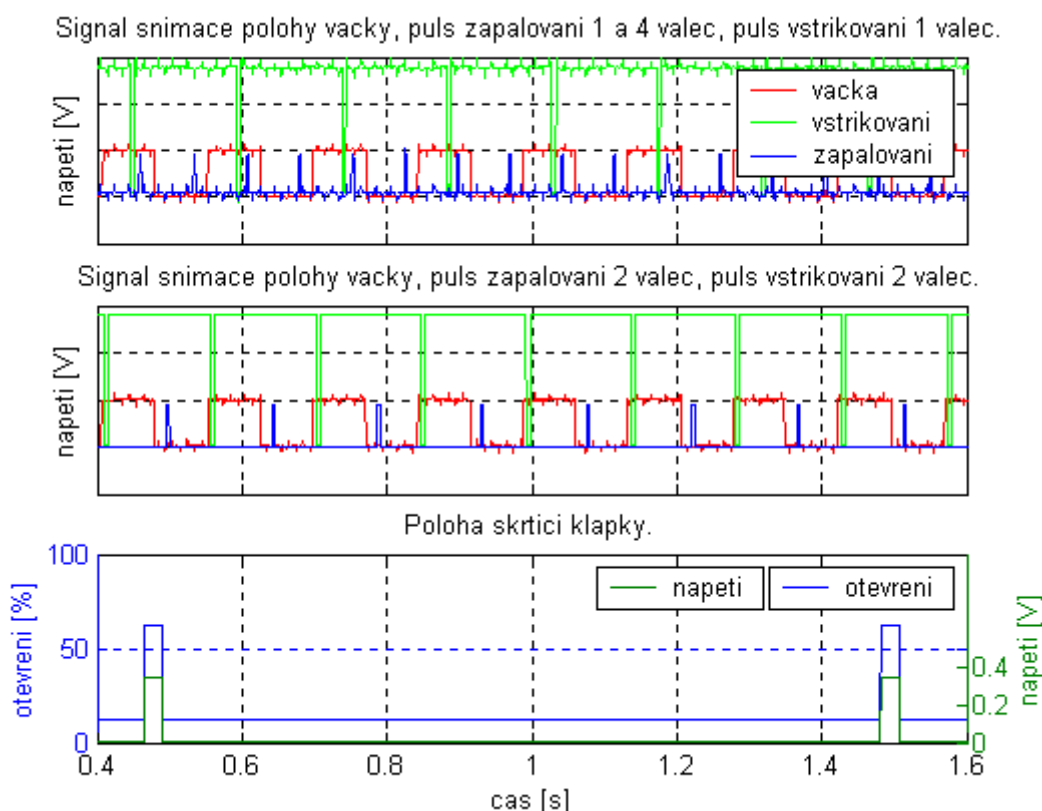
V grafu 5.5. jsou vyneseny úhlové vzdálenosti k HU po kompresi vzestupné a sestupné hrany pulsu zapalování ve stupních natočení klikové hřídele. Horní úvrat' po kompresi je označena 0° . Zážeh je iniciován sestupnou hranou pulsu zapalování, úhlová vzdálenost k HU sestupné hrany tedy představuje předstih zážehu směsi. Výše jsou předstihové charakteristiky pro zážeh ve čtvrtém válci, který je řízen jednotkou ECU. Níže je zobrazen předstih zážehu směsi ve druhém válci, řízený programem. Jak je vidět, první zážeh při startovacích otáčkách (v tomto případě přibližně 360 ot/min) proběhl výrazně za horní úvratí po kompresi ve čtvrtém válci. Krátce po startu pootevře řídicí jednotka motoru škrtkovací klapku a umožní nasát dostatečné množství vzduchu pro rychlé zvýšení otáček z hodnoty startovacích. Po přechodném zvýšení dojde ke stabilizaci otáček a zážeh probíhá do 5° před horní úvratí po kompresi. Pole hodnot předstihů pro řízení pulsů zapalování (2.válec) programem jsem sestavil v souladu s výsledky zpracovaných měření. Po dobu startu není z výše vysvětlených důvodů zahrnuta lambda regulace (viz.5.4.).



Graf 5.5: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu zapalování, čtvrtý válec (zapalování řízeno ECU), druhý válec (zapalování řízeno programem).

5.7. Volnoběžný režim motoru

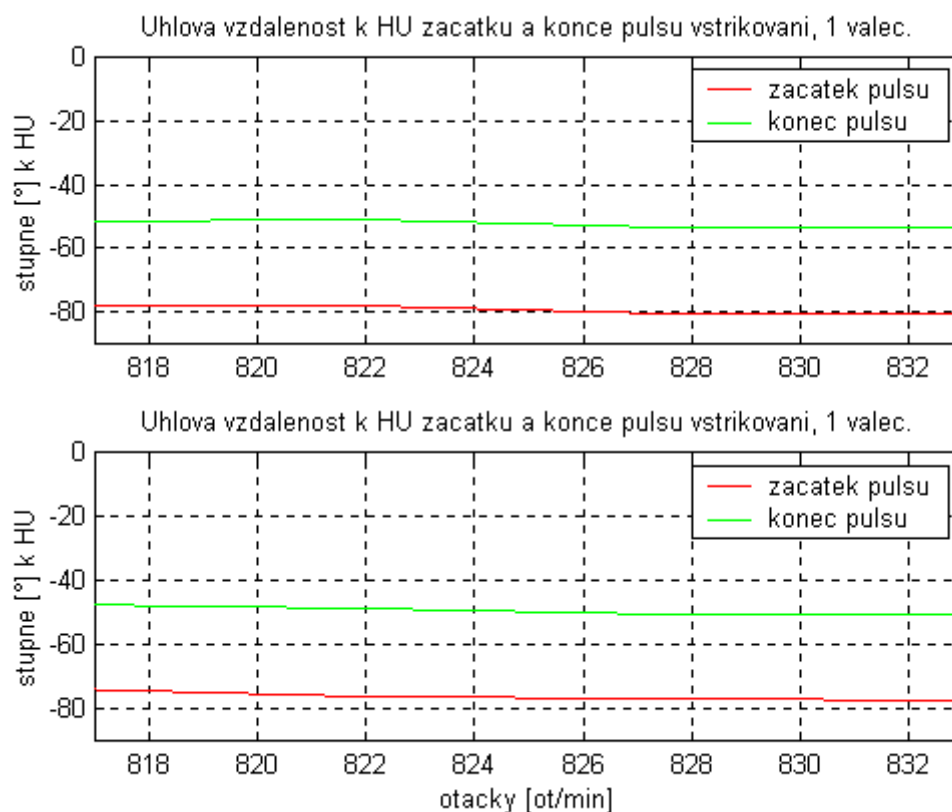
V grafu 5.6. je časový průběh signálu polohy vačkové hřídele a průběhy pulsu vstřikování a zapalování, nejprve pro první válec řízený jednotkou ECU. Níže jsou pulsy vstřikování a zapalování pro druhý válec generovány v závislosti na otáčkách programem. Dole je pro ilustraci naznačeno pootevření škrticí klapky zajištěné programem. Skutečná řídicí jednotka škrticí klapku krátkodobě pootevře při poklesu otáček pod stanovenou hodnotu jmenovitých volnoběžných, které jsou definovány v určitém rozsahu. Hodnoty předstihu a úhlu vstřiku pro druhý válec jsou v programu nastaveny v souladu s výsledky měření za tohoto provozního režimu. Je nutno zdůraznit, že při návrhu systému vstřikování je do značné míry počítáno s konstantní hmotností (konstantním množstvím) nasátého vzduchu při tomto provozním režimu. Pootevření škrticí klapky (viz.5.3.) nepochybně vyžaduje zvýšení množství paliva tak aby byl dodržen stechiometrický poměr případně požadovaný přebytek paliva ve směsi. Při případném pootevření klapky je množství paliva nastaveno tak jak vyplynulo z měření.



Graf 5.6: Signál polohy vačky, průběhy pulsů vstřikování, zapalování a otevření škrticí klapky, řízeno ECU a programově.

5.7.1. Vstřikování paliva při volnoběžném provozu motoru

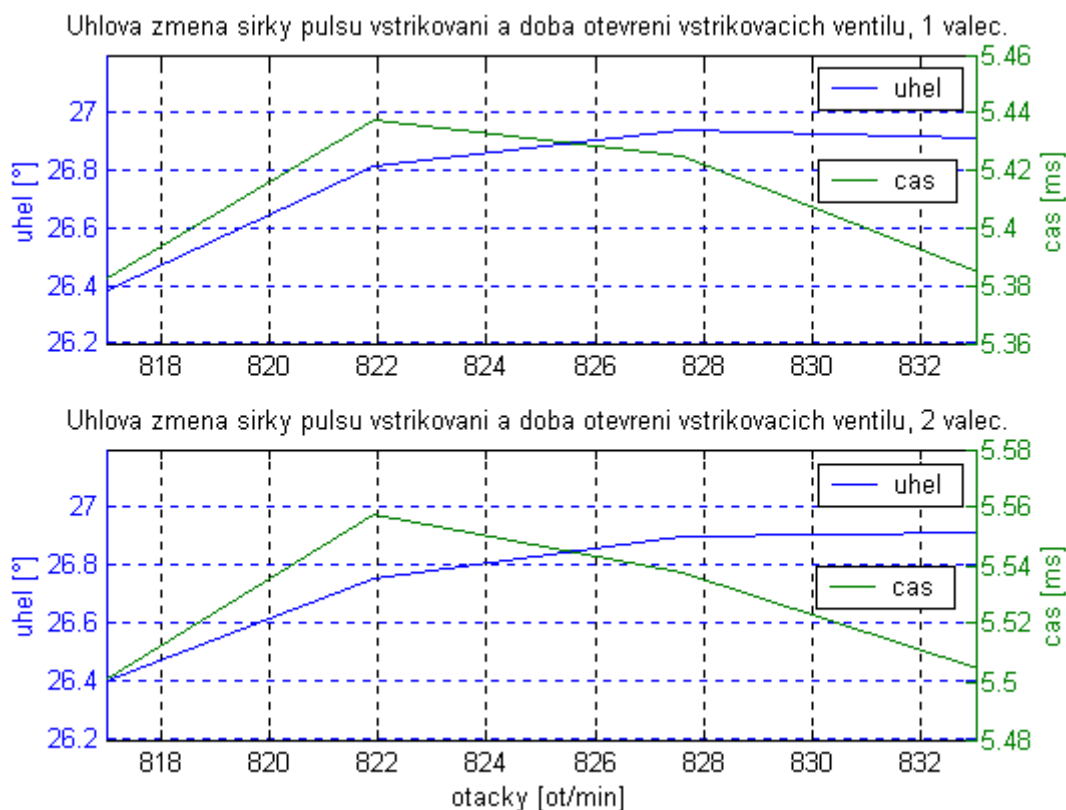
V grafu 5.7. jsou vyneseny úhlové vzdálenosti KH (po výfuku) začátku a konce pulsu vstřikování ve stupních natočení klikové hřídele. Úhel vstřiku je vztažen k horní úvrati po výfuku, která je označena 0°. Začátek pulsu představuje otevření vstřikovacích ventilů a konec pulsu jejich uzavření. Výše je úhel vstřiku (1.válec) řízený jednotkou ECU. Níže je znázorněn předstih vstřiku (2.válec) řízený programem. Úhel vstřiku je v programu nastaven v závislosti na otáčkách podle výsledků z měření volnoběžného režimu. Jak je patrné, nedochází pro úzké rozmezí volnoběžných otáček k výraznějšímu posunu pulsů vstřiku vůči horní úvrati. Vstřik je zahájen přibližně 80° před HU a ukončen přibližně 50° před HU po výfuku.



Graf 5.7: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu vstřikování, první válec (vstřikování řízeno jednotkou ECU), druhý válec (vstřikování řízeno programem).

5.7.1.1. Množství vstřikovaného paliva při volnoběžném provozu motoru

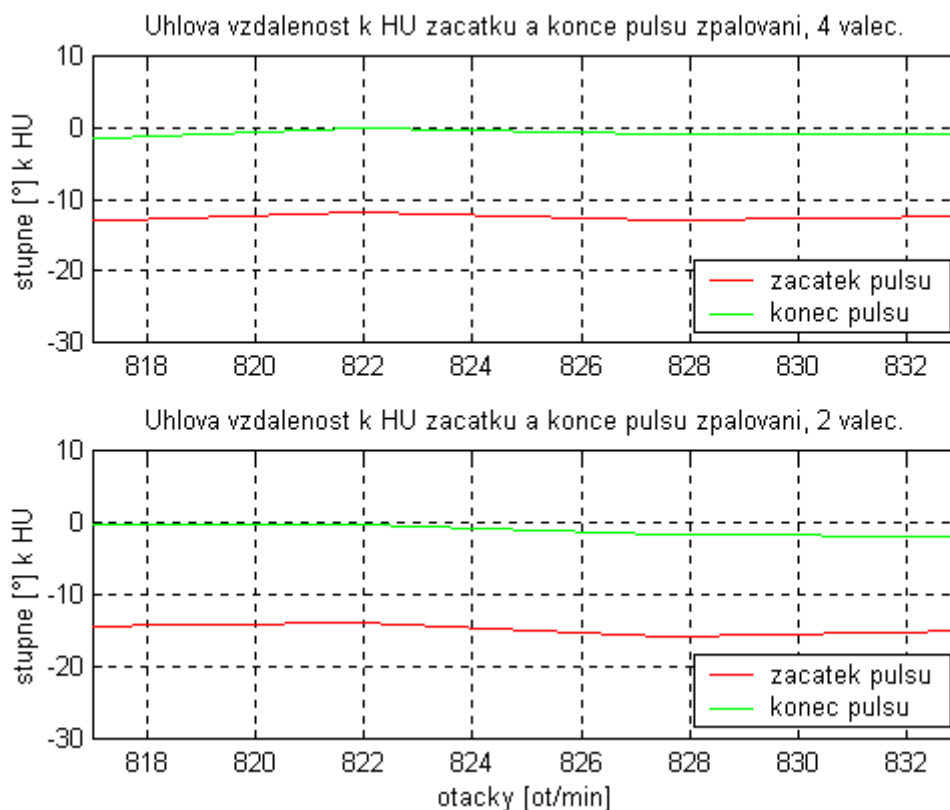
V grafu 5.8. jsou vyneseny úhlové změny šířky pulsu vstřikování (ve stupních natočení klikové hřídele), představující změnu množství vstřikovaného paliva. V souvislosti se změnou šířky vstřikovacích pulsů je naznačena i doba otevření vstřikovacích ventilů. Výše jsou průběhy uvedených změn pro první válec a vstřikování řízené jednotkou ECU. Níže jsou tyto charakteristiky pro druhý válec a vstřik řízený programem. Délka otevření vstřikovacích ventilů pro zásobování druhého válce palivem byla v programu nastavena v závislosti na otáčkách a na základě výsledků měření při provozu motoru ve volnoběžném režimu. Jak je z průběhů vidět, je množství vstřikovaného paliva pro stabilizované otáčky konstantní, změna doby otevření vstřikovacích ventilů se pohybuje v řádech desetin milisekund. Při poklesu otáček pod stanovenou hodnotu program provede obohacení směsi změnou šířky pulsu vstřiku resp. změnou doby otevření vstřikovacích ventilů. V programu je v průběhu každé otáčky sledována teplota chladicí kapaliny (viz.5.5.) a hodnota napětí – signál poskytovaný lambda sondou. V případě, že program zjistí zvýšenou hodnotu spalín ve výfukových plynech, je proveden regulační zásah (viz.5.4.).



Graf 5.8: Úhlová změna šířky pulsu vstřikování a doba otevření vstřikovacích ventilů, první válec (řízeno jednotkou ECU), druhý válec (řízeno programem).

5.7.2. Předstih zapalování při volnoběžném provozu motoru

V grafu 5.9 jsou vyneseny úhlové vzdálenosti k HU po kompresi vzestupné a sestupné hrany pulsu zapalování ve stupních natočení KH. Horní úvrať po kompresi je označena 0° . Jak již bylo uvedeno je zážeh směsi iniciován sestupnou hranou pulsu zapalování, předstihem zážehu směsi se tedy rozumí úhlová vzdálenost k HU (po kompresi příslušném válci) sestupné hrany pulsu zapalování. V horním grafu jsou předstihové charakteristiky pro zážeh ve čtvrtém válci, který je řízen jednotkou ECU. Ve spodním grafu je zobrazen předstih zážehu směsi ve druhém válci, řízený programem. Jak je z průběhů patrné probíhá zážeh v obou válcích do 5° před horní úvratí po kompresi, případně těsně před horní úvratí. Programem řízené zapalování (nastavení předstihu) pro druhý válec vychází z výsledků naměřených dat. V případě, že dojde k poklesu otáček pod stanovenou hodnotu, je v programu nastaveno zvýšení předstihu pro stabilizaci volnoběhu zvýšením krouticího momentu. V případě překročení stanovené teploty chladicí kapaliny (viz.5.5.) je v programu provedena negativní korekce předstihu (zmenšení předstihu) pro snížení teploty motoru. Dále je prováděna regulace obsahu spalín ve výfukových plynech (lambda regulace) tak, jak je popsáno v 5.4.



Graf 5.9: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu zapalování, čtvrtý válec (zapalování řízeno jednotkou ECU), druhý válec (zapalování řízeno programem).

6. Zhodnocení dosažených výsledků

Když jsem s měřením signálů řídicí jednotky a signálů ze snímačů tohoto spalovacího motoru začínal, nebyly dostupné prakticky žádné informace o podobě těchto signálů, nebyly známy napěťové úrovně apod. V průběhu měření se s přispěním technické dokumentace podařilo tuto situaci poněkud zlepšit a vypracovat přehled základních signálů a jejich charakteristik pro řídicí jednotku Simos 3PA a signálů pro ovládání akčních členů jednotkou motoru.

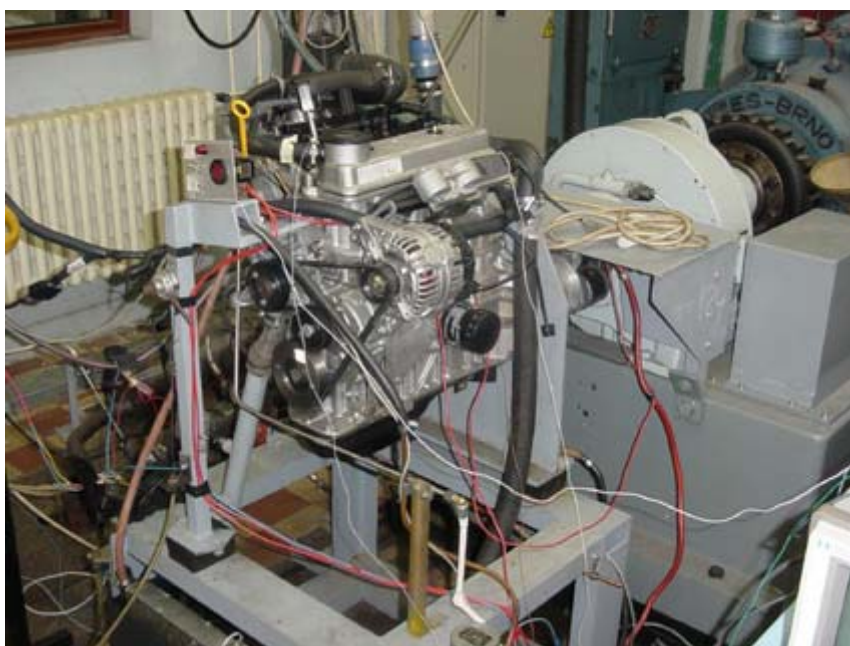
Zejména při zpracování provedených měření jsem si vytvořil poměrně ucelenou představu o základních principech řízení moderního zážehového motoru při provozu v odlišných pracovních režimech.

Při návrhu systému řízení volnoběžného chodu motoru jsem vycházel ze znalostí, získaných právě v průběhu měření a jeho zpracování.

7. Závěr

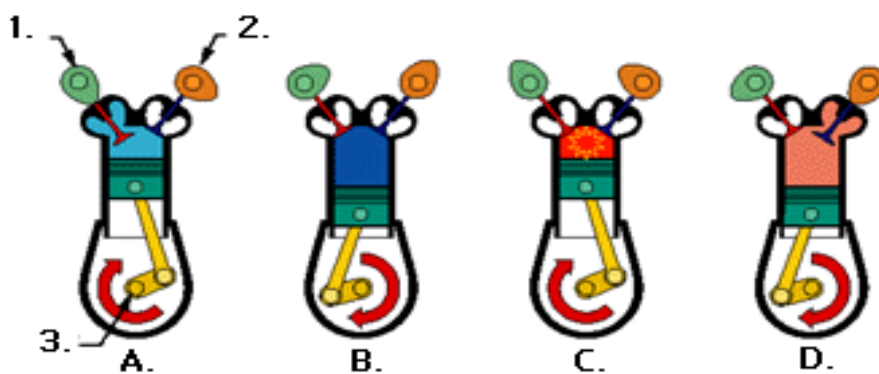
System řízení motoru vytvořený na základě znalosti vstupních a výstupních signálů řídicí jednotky pro různá zatížení za jinak shodných a stabilních podmínek umožní správně provozovat motor pouze za podmínek, v nichž byly tyto signály měřeny. I když to pro některé aplikace může stačit, při výrazně odlišných provozních podmínkách nebude provozován optimálně, protože bez znalosti míry vlivu vyhodnocovaných parametrů je možné stanovit objektivně správnou korekci pouze na teplotu nasávaného vzduchu. Korekce na teplotu chladicí vody, stanovení optimálního předstihu atd., extrémní povětrnostní podmínky by vyžadovaly provedení experimentálních měření na motoru ve stejném rozsahu jako při vývoji řídicí jednotky. U celé řady speciálních aplikací řízení motoru pomocí PC toto zjednodušení však nemusí vadit. Výhodou PC je možnost současného monitorování velmi rozsáhlého souboru parametrů, které je při vývoji, kontrole kvality apod. nezbytné a také značná pružnost, kterou může počítačový model poskytovat. Program, který jsem pro řízení volnoběžného chodu motoru vytvořil, zahrnuje základní a pro tento režim nezbytné regulační mechanismy.

Přílohy



Na obrázku je motor umístěný na zkušební stoli. V pravém horním rohu je část zařízení brzdy, ke které je motor připojen.

- 1: vačka otevírající sací ventil
- 2: vačka otevírající výfukový ventil
- 3: kliková hřídel



Pracovní cyklus čtyřválcce:

- A: sání
- B: komprese
- C: expanze
- D: výfuk



Na obrázku je digitální, dvoukanálový osciloskop HP 54520A, připojený ke dvěma snímačům na motoru.



Na obrázku je řídící jednotka motoru Simos 3PA vyráběná firmou Siemens.

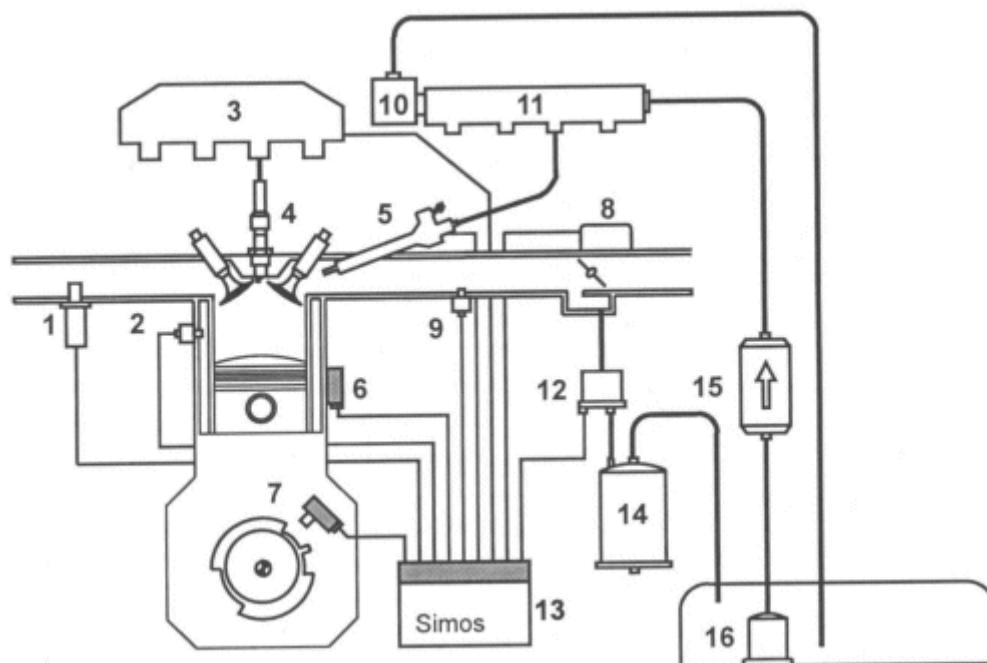
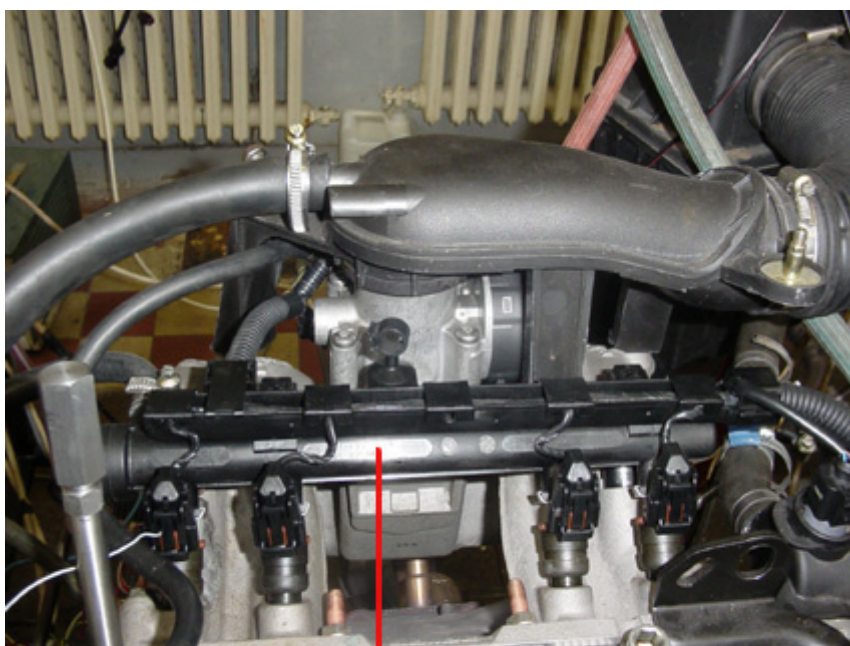


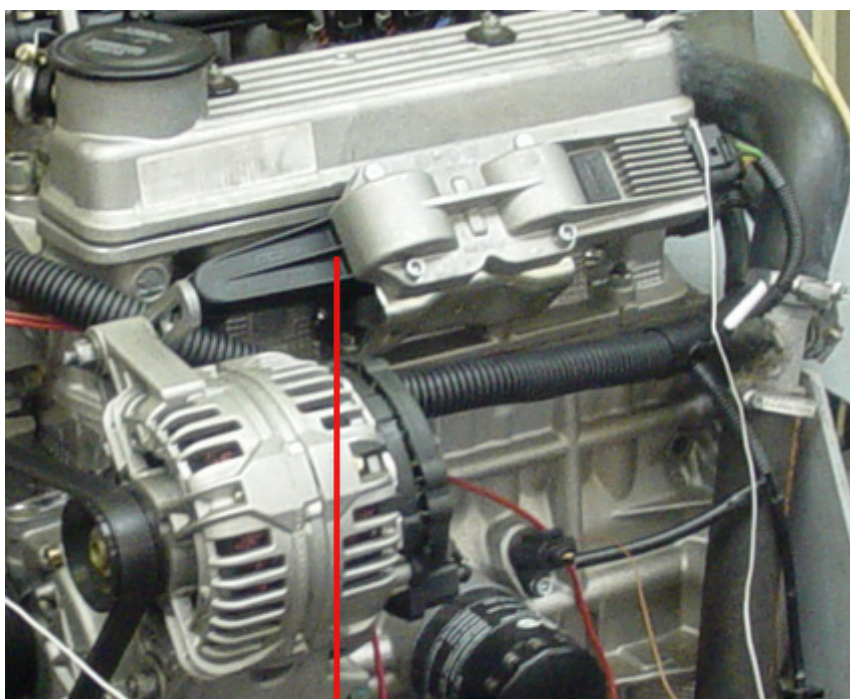
Schéma systému Simos

- 1 lambda-sonda
- 2 snímač teploty chladicí kapaliny
- 3 zapalovací lišta
- 4 zapalovací svíčka
- 5 vstřikovací ventil
- 6 snímač klepání
- 7 snímač polohy klikového hřídele
- 8 škrticí klapka
- 9 snímač tlaku a teploty nasávaného vzduchu
- 10 regulátor tlaku paliva
- 11 rozdělovací lišta paliva
- 12 ventil odvětrání
- 13 řídicí jednotka motoru ECU
- 14 zásobník AKF (odvětrání paliva)
- 15 čistič paliva
- 16 čerpadlo paliva



Lišta s vstřikovacími ventily

Na obrázku je rozdělovací lišta paliva se čtyřmi elektromagnetickými vstřikovacími ventily.



Lišta zapalování

Na obrázku je lišta zapalování, zážeh je prováděn společně vždy pro dvojici válců a probíhá ve válci bez ohledu zda je válec po výfukovém či kompresním cyklu.

Seznam použité literatury:

- [1] ŠKODA OCTAVIA, Motor 1,4 l./44 kW, Dílenská učební pomůcka.
- [2] Euro-On-Board-Diagnose, Pro benzinové motory, Dílenská učební pomůcka.
- [3] **Skočdopole M.,Krajtl D.** : Elektrotechnické aplikace, článek je přístupný
na adrese : <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~danekl/Archiv.PCK/!!!2001!!!/0109/>
- [4] Manual PCA 1408A, uživatelská příručka je dostupná
na adrese : <http://tedia.cz/cz/manualy/pca1208a.pdf>
- [5] **Ferenc B.** : Elektronika a zážehové motory, článek je přístupný
na adrese : http://vita.upol.cz/ferenc/n2_mot/n2.htm
- [6] **Váňa P.** : Škoda techweb, Simos2P, článek je přístupný
na adrese : <http://skoda.panda.cz/clanek.php?id=335>
- [7] **Pošta J.** : Údržba palivové soustavy zážehových motorů, článek je
přístupný na adrese : <http://posta.tf.czu.cz/TUO/PrednTUO/PALIZAZEH.DOC>
- [8] MATLAB, Reference Guide. The Math Works, Inc.
- [9] **Macek J., Suk B.** : Spalovací motory I. Učební text, ČVUT, 1996.

Seznam obrázků

| | |
|--|------|
| Obr.3.1: Součinitel přebytku vzduchu a množství vzduchu na 1 kg paliva..... | 21 - |
| Obr.3.2: Diagram časování sacích a výfukových ventilů..... | 24 - |
| Obr.5.1: Postup výpočtu hodnoty předstihu..... | 42 - |
| Obr.5.2: Zpracování signálu polohy vačkové a klikové hřídele řídicí jednotkou..... | 44 - |
| Obr.5.3: Signál polohy klikové hřídele..... | 45 - |
| Obr.5.4: Signál polohy vačkové hřídele..... | 45 - |
| Obr.5.5: Funkce lambda-sondy..... | 47 - |
| Obr.5.6: Skoková změna napětí při přechodu z bohaté do chudé směsi..... | 49 - |

Seznam grafů

| | |
|--|------|
| Graf 3.1: Průběh signálu ze snímače otáček, snímáný digitálním osciloskopem | 15 - |
| Graf 3.2: Signál ze snímače polohy vačky, snímáný osciloskopem a PC kartou..... | 17 - |
| Graf 3.3: Signál ze snímače otevření škrtkové klapky a polohy pedálu akcelerace, snímáný PC kartou..... | 19 - |
| Graf 3.4: Průběh pulsů vstřiku, snímáný digitálním osciloskopem a PC kartou..... | 24 - |
| Graf 3.5: Průběh pulsů zapalování, snímáný digitálním osciloskopem a PC kartou..... | 25 - |
| Graf 4.1: Průběhy signálů ze snímače polohy vačky, puls vstřikování a zapalování, otevření škrtkové klapky po startu motoru..... | 28 - |
| Graf 4.2: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu vstřikování a doba otevření vstřikovacích ventilů při startu motoru, (1.válec)..... | 29 - |
| Graf 4.3: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu zapalování ve stupních natočení KH při startu motoru a úhlová změna šířky pulsu,(1.válec)..... | 30 - |
| Graf 4.4: Průběhy signálu polohy vačky, puls vstřikování (1.válec) a zapalování (1.a 4. válec) a signál polohy škrtkové klapky..... | 31 - |
| Graf 4.5: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu vstřikování a doba otevření vstřikovacích ventilů při volnoběhu, (1.válec)..... | 32 - |
| Graf 4.6: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu zapalování ve stupních natočení KH při volnoběhu a úhlová změna šířky pulsu, (1.válec)..... | 33 - |
| Graf 4.7: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu vstřikování..... | 34 - |
| Graf 4.8: Změna úhlu šířky pulsu vstřikování ve stupních natočení KH a doba otevření vstřikovacích ventilů..... | 35 - |

| | |
|---|------|
| Graf 4.9: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu zapalování ve stupních natočení KH při rostoucích otáčkách a úhlová změna šířky pulsu, (1.válec)..... | 36 - |
| Graf 4.10: Kalibrace signálu zatěžovacího momentu a průběhy momentových charakteristik po kalibraci pro různá zatížení..... | 37 - |
| Graf 4.11: Úhlová vzdálenost (předstih) k HU sestupné hrany pulsu zapalování ve stupních natočení KH, (1.válec)..... | 38 - |
| Graf 4.12: Předstih zážehu v závislosti na otáčkách a kroutícím momentu..... | 39 - |
| Graf 4.13: Půdorys grafu 4.12..... | 39 - |
| Graf 4.14: Doba otevření vstřikovacích ventilů v závislosti na otáčkách a kroutícím momentu..... | 40 - |
| Graf 5.1: Průběh signálu polohy škrtící klapky a pedálu akceleraace, kalibrace otevření škrtící klapky..... | 46 - |
| Graf 5.2: Signál polohy vačky, průběhy pulsů vstřikování, zapalování a otevření škrtící klapky, řízeno ECU a programově..... | 49 - |
| Graf 5.3: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu vstřikování, první válec (řízeno jednotkou ECU), druhý válec (řízeno programem)..... | 50 - |
| Graf 5.4: Úhlová změna šířky pulsu vstřikování a doba otevření vstřikovacích ventilů, první válec (řízeno jednotkou ECU), druhý válec (řízeno programem)..... | 51 - |
| Graf 5.5: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu zapalování,čtvrtý válec (zapalování řízeno ECU),druhý válec (zapalování řízeno programem)..... | 52 - |
| Graf 5.6: Signál polohy vačky, průběhy pulsů vstřikování, zapalování a otevření škrtící klapky, řízeno ECU a programově..... | 53 - |
| Graf 5.7: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu vstřikování, první válec (vstřikování řízeno jednotkou ECU), druhý válec (vstřikování řízeno programem)..... | 54 - |
| Graf 5.8: Úhlová změna šířky pulsu vstřikování a doba otevření vstřikovacích ventilů, první válec (řízeno jednotkou ECU), druhý válec (řízeno programem)..... | 55 - |
| Graf 5.9: Úhlová vzdálenost k HU začátku a konce pulsu zapalování, čtvrtý válec (řízeno jednotkou ECU), druhý válec (řízeno programem)..... | 56 - |

Seznam příloh

| | |
|--|--------|
| Příloha č.1: umístění motoru na zkušební stolicí..... | - 60 - |
| Příloha č.2: pracovní cyklus čtyřdobého zážehového motoru..... | - 61 - |
| Příloha č.3: připojení digitálního osciloskopu HP ke snímačům na motoru..... | - 62 - |
| Příloha č.4: řídicí jednotka motoru Simos 3PA..... | - 63 - |
| Příloha č.5: schéma systému Simos..... | - 64 - |
| Příloha č.6: akční členy – systém vstřikování..... | - 65 - |
| Příloha č.7: akční členy – systém zapalování..... | - 66 - |

Seznam použitých zařízení:

benzinový motor 1,4 l./44kW

ECU Benzin Simos 3PA SJ4C, Siemens

multifunkční PC karta PCA 1408A

digitální osciloskop HP 54520A

PC – osobní počítač, Intel Celeron 700 MHz, RAM 128 MB